

การศึกษาเส้นใยเคฟลาร์และเส้นใยสับปะรดเป็นสารเสริมแรงใน
ยางถอนขนไก่

STUDY OF KEVLAR AND PINEAPPLE LEAF PULPS AS
REINFORCED FIBERS IN CHICKEN PLUCKER RUBBER
FINGERS



สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การศึกษาเส้นใยเคฟลาร์และเส้นใยสับปะรดเป็นสารเสริมแรงใน
ยางถอนขนไก่

STUDY OF KEVLAR AND PINEAPPLE LEAF PULPS AS
REINFORCED FIBERS IN CHICKEN PLUCKER RUBBER
FINGERS



สาขาหมู่.....
เลขทะเบียน.....149458
วันเดือนปี..... 8 อ.ค. 2561

b. 12884376
i.

สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF KEVLAR AND PINEAPPLE LEAF PULPS AS
REINFORCED FIBERS IN CHICKEN PLUCKER RUBBER
FINGERS



COOPERATIVE EDUCATION SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สหกิจศึกษา การศึกษาเส้นใยเคฟลาร์และเส้นใยสับปะรดเป็นสารเสริมแรงในยางถอนขนไก่
STUDY OF KEVLAR AND PINEAPPLE LEAF PULPS AS REINFORCED
FIBERS IN CHICKEN PLUCKER RUBBER FINGERS

ชื่อนักศึกษา นางสาวจุฑาทิพย์ ดรีทศรัตน์ รหัสนักศึกษา 56050466
นางสาวภัทธีรา ธรรมวุฒา รหัสนักศึกษา 56050563
นางสาววิชญาพร ทองฉิม รหัสนักศึกษา 56050598

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา เคมี
คณะ วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. อธิพิล แจ้งชัด
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รศ.ดร. ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยมหิดล

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต(เคมีอุตสาหกรรม)
ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ปทุมมา ศิริพันธ์โนน ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์ กรรมการ	
รศ.ดร. อธิพิล แจ้งชัด กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สหกิจศึกษา	การศึกษาเส้นใยเคฟลาร์และเส้นใยสับปะรดเป็นสารเสริมแรงในยางถอนขนไก่		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวจุฑาทิพย์ ตรีทศรัตน์	รหัสนักศึกษา	56050466
	นางสาวภัทธีรา ธรรมวุฒา	รหัสนักศึกษา	56050563
	นางสาววิชญาพร ทองฉิม	รหัสนักศึกษา	56050598
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง		
ปีการศึกษา	2559		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. อิทธิพล แจ่มชัด		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รศ.ดร. ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย	ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยมหิดล	

บทคัดย่อ

สหกิจนี้ร่วมกับบริษัท เอส.เค.โพลีเมอร์ จำกัด ศึกษาการนำเส้นใยอะรามิด (Kevlar) และเส้นใยจากใบสับปะรด (Pineapple Leaf Fiber; PALF) ชนิดเส้นใยสั้นมาใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงในยางถอนขนไก่ ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ชนิดเส้นใย (Kevlar และ PALF) ปริมาณเส้นใย (0-10 phr) ชนิดสารช่วยกระจายตัว (Struktol®WB222 และ Ultralube®250) ปริมาณสารช่วยกระจายตัว (0, 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเส้นใย) และปริมาณของฟีนอลิกเรซิน (0 1.5 และ 10 phr) ตัวอย่างยางผสมสูตรเตรียมโดยใช้เครื่องผสมชนิดสองลูกกลิ้ง และขึ้นรูปเป็นแผ่นด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปตัวอย่างคอมปาวด์ทดสอบความหนืดมูนีและพฤติกรรมการเชื่อมโยงของยาง จากนั้นทำการศึกษาแนวเปรียบเทียบถึงลักษณะการเชื่อมโยง (Cure characteristics) สมบัติเชิงกล และศึกษาสัญญาณวิทยาด้วย OM และ SEM จากการศึกษาพบว่า เมื่อมีการเพิ่มปริมาณเส้นใยเคฟลาร์และเส้นใยใบสับปะรดทำให้ความหนืดมูนีสูงขึ้นตามคาด เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยในยางพบว่า การเชื่อมโยงยางเกิดช้าลงเล็กน้อย ค่าความแข็งแรง และมอดุลัสของยางที่ 10 และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนค่าการต้านทานการขาด ค่าความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด มีแนวโน้มลดลง สมบัติเชิงกลในแนว MD มีค่าสูงกว่าแนว TD อย่างไรก็ตามการต้านทานการหักงอไม่มีแนวโน้มดีขึ้นเมื่อใส่เส้นใย สำหรับการศึกษาค่าผลของการใส่สารช่วยกระจายตัวและการใส่ฟีนอลิก เรซินที่ปริมาณต่างๆ พบว่าสมบัติเชิงกลแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่จากการศึกษาสัญญาณวิทยาพบว่า เส้นใยมีการกระจายตัวดีขึ้นเมื่อใส่สารกระจายตัว

เอกสารสำคัญ : เส้นใยเคฟลาร์ เส้นใยใบสับปะรด เส้นใยสั้น ยางถอนขนไก่ เส้นใยเสริมแรง โยชนด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	STUDY OF KEVLAR AND PINEAPPLE LEAF PULPS AS REINFORCED FIBER IN CHICKEN PLUCKER RUBBER FINGERS			
Students	Miss Jutathip	Treetossarat	Student ID	56050466
	Miss Pattira	Tamwuta	Student ID	56050563
	Miss Wichayaporn	Thongchim	Student ID	56050598
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)			
Department	Chemistry			
Faculty	Science			
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)			
Academic Year	2016			
Advisor	Assoc.Prof.Dr. Ittipol Jangchud			
Co-adviser	Assoc.Prof.Dr. Taweechai Amornsakchai (Mahidol University)			

Abstract

This co-operative with SK Polymer Co., Ltd. study was focused on utilization of Kevlar pulp and pineapple leaf pulp as reinforcing fibers in chicken picking finger rubbers. Factors affecting rubber properties were studied including fiber types (Kevlar and PALF) ,fiber contents (0-10 phr) ,dispersing agent types (Struktol[®]WB222 and Ultralube[®]250) ,dispersing agent contents (0 25 50 75 and 100 wt% of fibers) and phenolic resin contents (0 1.5 and 10 phr). Samples were compounded by using a two roll-mill and shaped into sheets by a compression molding machine. Compound samples were tested for Mooney viscosity and curing behaviors. Comparative studies were carried out for cure characteristics, mechanical properties and morphology by OM and SEM. It was found that Mooney viscosities of rubber compounds with both fibers were increased as expected. Compound samples showed slightly slower cure characteristics as fiber loading was increased. By adding both fibers, hardness, 10%modulus, and 100%modulus showed tends to increase, whereas tensile strength, %elongation at break, and abrasion resistance were decreased. Mechanical properties in machine direction (MD) of fiber-filled rubbers were higher compared to those in transverse direction (TD). However, Ross flex cracking resistance could not be improved by adding both fibers. By adding dispersing agents and phenolic resin to the compounds, mechanical properties were changed insignificantly. However,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

morphology of fiber dispersion seemed to be improved by adding the dispersing agents.

Keywords : Aramid fiber (Kevlar), Pineapple leaf fiber (PALF), Chicken plucker rubber fingers, Reinforcing fibers, Short fibers



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

สหกิจศึกษานี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายฝ่าย ซึ่งทางกลุ่มผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มจัต และ รศ.ดร.ทวิชัย อมรศักดิ์ชัย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา งานวิจัย ผู้ให้ความช่วยเหลือในด้านทฤษฎีและด้านการปฏิบัติ คอยแนะนำและให้คำปรึกษาในการทำวิจัย ซึ่งเป็นผลให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ปทุมมา ศิริพันธ์โนน และ ผศ.ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์ กรรมการสอบงานวิจัย ที่ให้ความกรุณาตรวจสอบงานวิจัย รวมถึงให้คำแนะนำและแนวทางต่างๆ เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ ผู้บริหารบริษัท เอส.เค.โพลีเมอร์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทำสหกิจศึกษา และอำนวยความสะดวกเป็นอย่างดีในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับทุนอุดหนุนในการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณเดชาธร ฉันทรักษ์ และบริษัท เอส.เค.โพลีเมอร์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เรื่องเครื่องมือ อุปกรณ์ และวัสดุต่างๆที่ใช้ด้านปฏิบัติการทดลองงานวิจัย รวมถึงให้คำปรึกษาเรื่องต่างๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ บริษัท เคมีคอล อินโนเวชั่น จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เรื่องเส้นใยอะรามิด และข้อมูลที่ใช้ในการประกอบการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ บริษัท เบ็นไมเยอร์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เรื่องสารช่วยกระจายตัว และข้อมูลที่ใช้ในการประกอบการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่อำนวยความสะดวกและให้ความช่วยเหลือการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

จุฑาทิพย์ ตริทศรัตน์

ภัทธีรา ธรรมวุฒา

วิชญาพร ทองฉิม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ยางธรรมชาติ.....	5
2.1.1 ประวัติความเป็นมา.....	5
2.1.2 โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ.....	5
2.1.3 สมบัติของยางธรรมชาติ.....	5
2.1.4 การใช้งานของยางธรรมชาติ.....	6
2.2 สารเคมีสำหรับยาง.....	6
2.2.1 สารเชื่อมโยง (Vulcanizing or curing agents).....	6
2.2.2 สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Accelerator).....	7
2.2.3 สารกระตุ้นปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Activator).....	7
2.2.4 สารตัวเติม (Filler).....	7
2.2.5 พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer).....	8
2.2.6 สารป้องกันการเสื่อมสภาพของยาง (Protective agent).....	9
2.2.7 พอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene-glycol; PEG).....	9
2.3 เส้นใยเสริมแรง.....	9
2.3.1 เส้นใยอะรามิด (Aramid fiber).....	9
2.3.2 เส้นใยจากใบสับปะรด (Pineapple leaf fiber).....	11
2.4 มาสเตอร์แบทช์.....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.5 สารช่วยกระจายตัว (Dispersing agents)	12
2.6 คอมโพสิต.....	13
2.6.1 ชนิดของคอมโพสิต.....	14
2.6.2 องค์ประกอบของคอมโพสิต.....	14
2.7 การออกสูตรยาง.....	16
2.8 การผสมยาง.....	17
2.9 การทดสอบสมบัติของยาง.....	18
2.9.1 การทดสอบลักษณะการเชื่อมโยงยาง (Cure characteristic).....	18
2.9.2 การทดสอบความหนืดของยาง (Mooney viscosity).....	19
2.9.3 การทดสอบความแข็งกด (Hardness test).....	20
2.9.4 การทดสอบแรงดึง (Tensile tests).....	20
2.9.5 การทดสอบการต้านทานการขัดถู (Abrasion test).....	21
2.9.6 การทดสอบการต้านทานการหักงอ (Flexing resistance test).....	21
2.9.6.1 Ross Flex	22
2.9.6.2 Flex Cracking	22
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	27
3.1 ขั้นตอนการศึกษา.....	27
3.2 สารเคมี.....	27
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	28
3.4 วิธีการดำเนินงาน.....	29
ขั้นตอนการเตรียมสารเคมีและการขึ้นรูปยางผสมสูตร.....	31
การทดสอบลักษณะการเชื่อมโยง.....	33
การทดสอบสมบัติเชิงกล.....	33
การทดสอบทางสัณฐานวิทยา.....	37
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปราย	38
4.1 ผลของปริมาณเส้นใยเคฟลาร์ที่มีผลต่อสมบัติของยางถนนชนิด.....	39
4.1.1 การศึกษาพฤติกรรมการเชื่อมโยงของยาง.....	39
4.1.2 การศึกษาสมบัติเชิงกล.....	41
4.1.3 การศึกษาสัณฐานวิทยา.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

4.2 ผลของสารช่วยกระจายตัวที่มีต่อการกระจายตัวของเส้นใยเคฟลาร์.....	50
4.2.1 การศึกษาพฤติกรรมกรรมการเชื่อมโยง : ผลการใส่ Struktol® WB 222.....	50
4.2.2 การศึกษาสมบัติเชิงกล : ผลการใส่ Struktol® WB 222	50
4.2.3 การศึกษาสัญญาณวิทยา : ผลการใส่ Struktol® WB 222	57
4.2.4 การศึกษาพฤติกรรมกรรมการเชื่อมโยงและสมบัติเชิงกล :	
ผลการใส่ Ultralube® 250.....	57
4.3 ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (Bakelite®PF 0222 SP 06; SP222).....	63
4.4 ผลของปริมาณเส้นใยจากใบสับปะรดที่มีต่อสมบัติของยางถอนขนไก่.....	69
4.4.1 การศึกษาพฤติกรรมกรรมการเชื่อมโยงของยาง.....	69
4.4.2 การศึกษาสมบัติเชิงกล.....	71
4.4.3 การศึกษาสัญญาณวิทยา.....	77
4.5 ผลของสารช่วยกระจายตัวที่มีต่อการกระจายตัวของเส้นใยจากใบสับปะรด.....	78
4.5.1 การศึกษาพฤติกรรมกรรมการเชื่อมโยง : ผลการใส่ Struktol® WB 222	79
4.5.2 การศึกษาสมบัติเชิงกล : ผลการใส่ Struktol® WB 222	79
4.5.3 การศึกษาพฤติกรรมกรรมการเชื่อมโยงและสมบัติเชิงกล :	
ผลการใส่ Ultralube®250.....	84
4.6 ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (Bakelite®PF 0222 SP 06; SP222).....	90
4.7 การเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลบางประการตามมาตรฐานของยางถอนขนไก่.....	96
4.8 การวิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบ.....	98
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	98
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	98
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	99
เอกสารอ้างอิง.....	100

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 มาตรฐานในการทดสอบสมบัติของยาง.....	3
3.1 สูตรผสมยางในการทดลองเพื่อศึกษาผลของเส้นใยเสริมแรงในยาง.....	31
3.2 สูตรผสมยางในการทดลองเพื่อศึกษาผลของชนิดและปริมาณเส้นใยเสริมแรง.....	32
3.3 สูตรผสมยางในการทดลองเพื่อศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารช่วยกระจายตัว.....	32
3.4 สูตรผสมยางในการทดลองเพื่อศึกษาผลของปริมาณเรซิน.....	33
4.1 ตัวอย่างสัญลักษณ์ของสูตรยางที่ใช้ในงานวิจัย.....	38
4.2 ค่าความหนืดมูนีและพฤติกรรมการเชื่อมโยง : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยเคพลาร์.....	40
4.3 ผลการทดสอบความต้านทานการหักงอ.....	47
4.4 ค่าความหนืดมูนีและพฤติกรรมการเชื่อมโยง : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222).....	51
4.5 ค่าความหนืดมูนีและพฤติกรรมการเชื่อมโยง : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250).....	57
4.6 ค่าความหนืดมูนีและพฤติกรรมการเชื่อมโยง : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222).....	63
4.7 ความหนืดมูนีและพฤติกรรมการเชื่อมโยง : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยจากใบสับปะรด.....	70
4.8 ค่าการต้านทานการหักงอ (Flex Cracking).....	76
4.9 ค่าความหนืดมูนีและพฤติกรรมการเชื่อมโยง : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222).....	79
4.10 ความหนืดมูนีและพฤติกรรมการเชื่อมโยง : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250).....	84
4.11 ค่าความหนืดมูนีและพฤติกรรมการเชื่อมโยง : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222).....	90
4.12 เปรียบเทียบสมบัติบางประการตามมาตรฐานของยางถนนชนิด.....	96
4.13 เปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้ในการผลิตยางถนนชนิด.....ในแต่ละสูตร.....	97

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 เครื่องถนอมขนไก่แบบถักกลมและเครื่องถนอมขนไก่แบบติดตั้งกับผนังห้อง.....	1
1.2 ยางถนอมขนไก่.....	2
1.3 ตัวอย่างการเสียสภาพของยางถนอมขนไก่จากการใช้งานที่หักจากการพับงอ.....	2
2.1 สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ.....	5
2.2 โครงสร้างเส้นใยอะรามิด (Kevlar)	10
2.3 การเกาะตัวกันของโซโมเลกุลของเคฟลาร์ด้วยพันธะไฮโดรเจน.....	10
2.4 ผลกระทบจากเส้นใยอะรามิด.....	11
2.5 เครื่องผสมแบบเปิดชนิดสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill).....	17
2.6 เครื่องผสมแบบปิด (Kneader)	18
2.7 เครื่องวัดการเชื่อมโยงโอดีอาร์ (Oscillating Disc Rheometer; ODR).....	19
2.8 ตัวอย่างกราฟเชื่อมโยง.....	19
2.9 เครื่องวัดความหนืดของยาง (Mooney viscometer).....	20
2.10 ดูโรมิเตอร์ (Durometer).....	20
2.11 เครื่องทดสอบเนกประสงค์ (Universal Testing Machine; UTM).....	21
2.12 เครื่องทดสอบการต้านทานการขัดถู (Din abrasion tester).....	21
2.13 เครื่องทดสอบความต้านทานการหักงอ (Ross flexing Tester).....	22
2.14 เครื่องทดสอบความต้านทานการหักงอ (De Mattia Flex Cracking Tester).....	22
2.15 ค่ามอดุลัสของยางที่ 10 เปอร์เซนต์.....	23
3.1 แผนผังแสดงภาพรวมการทดลองทั้งหมดในงานวิจัยนี้.....	30
3.2 ชิ้นงานตัวอย่างการทดสอบแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D412.....	33
3.3 ชิ้นงานตัวอย่างการทดสอบความแข็งแรงฉีกขาด ตามมาตรฐาน ASTM D624.....	34
3.4 ชิ้นงานตัวอย่างการทดสอบความแข็งกด ตามมาตรฐาน ASTM D2240.....	35
3.5 ชิ้นงานตัวอย่างการทดสอบการต้านทานต่อการขัดถู ตามมาตรฐาน DIN 53516:1987-06.....	35
3.6 ลักษณะการพับงอของชิ้นทดสอบยาง เมื่อทดสอบด้วยเครื่อง Ross flexing machine.....	36
3.7 แบบจำลองการยึดจับชิ้นงานสำหรับการทดสอบ โดยใช้เครื่อง De mattia flex cracking tester.....	36
4.1 กราฟการเชื่อมโยงของยางถนอมขนไก่ : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยเคฟลาร์.....	40
4.2 สันฐานวิทยาของยางถนอมขนไก่เสริมแรงด้วยเส้นใยเคฟลาร์ที่มีการเกิดจุดบกพร่อง.....	40
4.3 ค่าความแข็งกดของยางถนอมขนไก่ : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยเคฟลาร์.....	41
4.4 ค่าความแข็งแรงดึงของยางถนอมขนไก่ : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยเคฟลาร์.....	42

เอกสารนี้มีความแข็งแรงดึงของยางถนอมขนไก่ : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยเคฟลาร์..... 42
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

4.5	เปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาดของยางถอนขนไก่ : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยเคฟลาร์.....	42
4.6	มอดุลัสของยางที่ 10 เปอร์เซ็นต์ของยางถอนขนไก่ : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยเคฟลาร์.....	43
4.7	มอดุลัสของยางที่ 100 เปอร์เซ็นต์ของยางถอนขนไก่ : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยเคฟลาร์.....	43
4.8	ค่าความต้านทานการขาดของยางถอนขนไก่ : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยเคฟลาร์.....	44
4.9	การจัดเรียงตัวของเส้นใยในแนว MD และ TD.....	45
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแนว Machine Direction (MD) : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยเคฟลาร์.....	45
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแนว Transverse Direction (TD) : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยเคฟลาร์.....	46
4.12	ค่าความแข็งแรงฉีกขาดยางถอนขนไก่ : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยเคฟลาร์.....	46
4.13	ผลการทดสอบความต้านทานการหักงอ (Ross Flex).....	47
4.14	ลักษณะการขยายตัวของรอยแตกจากการทดสอบ Ross Flex และ Flex cracking.....	48
4.15	สัณฐานวิทยาของเส้นใยเคฟลาร์ ที่กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า.....	49
4.16	สัณฐานวิทยาของยางถอนขนไก่ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยเคฟลาร์ กำลังขยาย 300 เท่า.....	49
4.17	สัณฐานวิทยาของยางถอนขนไก่ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยเคฟลาร์ กำลังขยาย 500 เท่า.....	49
4.18	กราฟการเชื่อมโยงยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222).....	51
4.19	ค่าความแข็งกดยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222).....	52
4.20	ค่าความแข็งแรงดึงยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222).....	52
4.21	เปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาดของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222).....	53
4.22	มอดุลัสของยางที่ 10 เปอร์เซ็นต์ของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222).....	53
4.23	มอดุลัสของยางที่ 100 เปอร์เซ็นต์ของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222).....	54
4.24	ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของยางถอนขนไก่ : ผลของการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222).....	54
4.25	ค่าความต้านทานการขาดของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222).....	55

สารบัญรูป (ต่อ)

4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแนว Machine Direction (MD) :	
ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222).....	55
4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแนว Transverse Direction (TD) :	
ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222).....	56
4.28 สัณฐานวิทยาของยางถอนขนไก่ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยเคพลาร์.....	56
4.29 กราฟการเชื่อมโยงของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250).....	58
4.30 ค่าความแข็งกดของยางถอนขนไก่ : ผลของการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250).....	58
4.31 ค่าความแข็งแรงดึงของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250).....	59
4.32 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250).....	59
4.33 มอดุลัสของยางที่ 10 เปอร์เซ็นต์ของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250).....	60
4.34 มอดุลัสของยางที่ 100 เปอร์เซ็นต์ของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250).....	60
4.35 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250).....	61
4.36 ค่าความต้านทานการขัดถูของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250)	61
4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแนว Machine Direction (MD) : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250).....	62
4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแนว Transverse Direction (TD) : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250).....	62
4.39 กราฟการเชื่อมโยงของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222).....	64
4.40 ค่าความแข็งกดของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222).....	64
4.41 ค่าความแข็งแรงดึงของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222).....	65
4.42 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222).....	65
4.43 มอดุลัสของยางที่ 10 เปอร์เซ็นต์ของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222).....	66
4.44 มอดุลัสของยางที่ 100 เปอร์เซ็นต์ของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222).....	66
4.45 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222).....	67
4.46 ค่าความต้านทานการขัดถูของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222).....	67
4.47 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแนว Machine Direction (MD) :	
ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222).....	68

สารบัญรูป (ต่อ)

4.48 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแนว Transverse Direction (TD) : ผลการใส่พีนอลิกเรซิน (SP222).....	68
4.49 สัณฐานวิทยาของยางถอนขนไก่ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยเคพลาร์ A(1) : K02, A(2) : K02SP10 ที่กำลังขยาย 300 เท่า.....	69
4.50 กราฟการเชื่อมโยงของยางถอนขนไก่ : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยจากใบสับปะรด.....	70
4.51 สัณฐานวิทยาของยางถอนขนไก่ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยสับปะรดที่เกิดจุดบกพร่อง.....	70
4.52 ค่าความแข็งกตของยางถอนขนไก่ : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยจากใบสับปะรด.....	72
4.53 ค่าความแข็งแรงดึงของยางถอนขนไก่ : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยจากใบสับปะรด.....	72
4.54 เปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาดของยางถอนขนไก่ : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใย จากใบสับปะรด.....	73
4.55 มอดุลัสของยางที่ 10 เปอร์เซ็นต์ของยางถอนขนไก่ : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใย จากใบสับปะรด.....	73
4.56 มอดุลัสของยางที่ 100 เปอร์เซ็นต์ของยางถอนขนไก่ : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใย จากใบสับปะรด.....	74
4.57 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของยางถอนขนไก่ : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยจากใบสับปะรด.....	74
4.58 ค่าความต้านทานการขีดถูของยางถอนขนไก่ : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใย จากใบสับปะรด.....	75
4.59 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแนว Machine Direction (MD) ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยจากใบสับปะรด.....	75
4.60 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแนว Transverse Direction (TD) ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยจากใบสับปะรด.....	76
4.61 ผลการทดสอบการต้านทานการหักงอ.....	76
4.62 สัณฐานวิทยาของเส้นใยจากใบสับปะรด ที่กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า.....	78
4.63 สัณฐานวิทยาของยางถอนขนไก่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากใบสับปะรด A(1) : P02, A(2) : P30.	78
4.64 กราฟการเชื่อมโยงยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222).....	79
4.65 ค่าความแข็งกตของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222).....	80
4.66 ค่าความแข็งแรงดึงยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222).....	80
4.67 เปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาดของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222).....	81
4.68 มอดุลัสของยางที่ 10 เปอร์เซ็นต์ของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222).....	81

สารบัญรูป (ต่อ)

4.69 มอดูลัสของยางที่ 100 เปอร์เซนต์ของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222).....	82
4.70 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222).....	82
4.71 ค่าความต้านทานการขีดถูของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222).....	83
4.72 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแนว Machine Direction (MD) : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222).....	83
4.73 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแนว Transverse Direction (TD) : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222).....	84
4.74 กราฟการเชื่อมโยงของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250)	85
4.75 ค่าความแข็งกดของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250).....	85
4.76 ค่าความแข็งแรงดึงของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250).....	86
4.77 เปอร์เซนต์การยืดตัว ณ จุดขาดของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250).....	86
4.78 มอดูลัสของยางที่ 10 เปอร์เซนต์ของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250)	87
4.79 มอดูลัสของยางที่ 100 เปอร์เซนต์ของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250).....	87
4.80 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250).....	88
4.81 ค่าความต้านทานการขีดถูของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250).....	88
4.82 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแนว Machine Direction (MD) : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250).....	89
4.83 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแนว Transverse Direction (TD) : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250).....	89
4.84 กราฟการเชื่อมโยงของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222).....	91
4.85 ค่าความแข็งกดของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222).....	91
4.86 ค่าความแข็งแรงดึงของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222).....	92
4.87 เปอร์เซนต์การยืดตัว ณ จุดขาดของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222).....	92

สารบัญรูป (ต่อ)

4.88 มอดูลัสของยางที่ 10 เปอร์เซ็นต์ของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222).....	93
4.89 มอดูลัสของยางที่ 100 เปอร์เซ็นต์ของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222).....	93
4.90 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222).....	94
4.91 ค่าความต้านทานการขัดถูของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250).....	94
4.92 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแนว Machine Direction (MD) : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222).....	95
4.93 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแนว Transverse Direction (TD) : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222).....	95



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในอดีตผู้ประกอบการธุรกิจฟาร์มไก่ขนาดเล็กทำการแปรรูปไก่โดยใช้แรงงานคน ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาในการแปรรูป ส่งผลให้อัตราการผลิตนั้นค่อนข้างต่ำ ต่อมาเมื่อความต้องการของผู้บริโภคเพิ่มสูงขึ้น ผู้ประกอบการจึงมีความจำเป็นต้องขยายขนาดธุรกิจ เพื่อเพิ่มอัตราการผลิตให้สอดคล้องกับความต้องการ จึงมีการนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้เพื่อลดเวลาในการแปรรูป โดยเทคโนโลยีดังกล่าว คือ เครื่องถอนขนไก่ที่ใช้ยางถอนขนไก่ (Chicken feather plucking machine) โดยทั่วไปแล้วเครื่องถอนขนไก่มีหลายชนิดที่นิยมใช้ได้แก่

1. เครื่องถอนขนไก่แบบถังกลม เครื่องถอนขนไก่แบบถังกลมจะมีการติดตั้งยางถอนขนไก่ไว้ภายใน กระบวนการถอนขนเริ่มจากการนำไก่ที่ผ่านการลวกใส่ลงในเครื่องถอนขนไก่ ในขณะที่เครื่องกำลังทำงานตัวเครื่องจะหมุนด้วยความเร็ว และจะต้องทำการฉีดน้ำ ล้างตัวไก่เพื่อไล่ขนที่ติดตามตัวเครื่อง และตัวไก่ออกให้หมดจากนั้นนำไก่ออกจากเครื่องแล้วนำไปยังกระบวนการอื่นๆ ต่อไป

2. เครื่องถอนขนไก่แบบที่เป็นตู้ที่ติดตั้งยางถอนขนไก่ไว้ที่ผนังตู้ กระบวนการถอนขนเริ่มจากลำเลียงไก่ที่ผ่านการลวกแล้วมายังห้องถอนขนไก่ที่มีการติดตั้งแผ่นจานยางถอนขนไก่ตามผนังตู้ในตำแหน่งต่างๆ เมื่อไก่ถูกลำเลียงผ่านแผ่นจานยางถอนขนไก่ที่ติดตั้งอยู่แผ่นจานยางถอนขนไก่ก็จะหมุนด้วยความเร็วเพื่อถอนขนไก่ออก หลังจากนั้นไก่ที่ผ่านกระบวนการถอนขนจะถูกลำเลียงไปยังห้องล้างไก่เพื่อล้างขนที่ติดตามตัวไก่ออกก่อนลำเลียงไปยังกระบวนการอื่นๆ ต่อไป



รูปที่ 1.1 เครื่องถอนขนไก่แบบถังกลม (ซ้าย) และเครื่องถอนขนไก่แบบติดตั้งกับตู้ถอนขนไก่ (ขวา)[1]

ภายในเครื่องถอนขนไก่ประกอบด้วย ยางถอนขน (Chicken plucker rubber fingers) ที่เป็นผลิตภัณฑ์ยางซึ่งใช้เพื่อถอนขนไก่ให้หลุดออกจากตัวไก่ โดยชนิดของยางถอนขนไก่ แบ่งตามชนิดความแข็ง มี 3 ประเภท คือ 50, 60 และ 70 Shore A ในส่วนของการใช้งานยางถอนขนไก่ถือว่าเป็นส่วนประกอบสำคัญของเครื่องถอนขนไก่แบบอัตโนมัติ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 ยางถนอขนไก่

โดยเมื่อใช้งานแล้วปัญหาที่พบ คือ ตรงบริเวณฐานจะเกิดการขาด แสดงดังรูปที่ 1.3 เนื่องจากมีการพับงอหลายครั้ง ส่งผลให้อายุการใช้งานของยางถนอขนไก่สั้นลง ทำให้ประสิทธิภาพการถนอขนไก่ลดลง และมีต้นทุนการผลิตสูงขึ้น เนื่องจากต้องหยุดกระบวนการผลิตที่ต่อเนื่อง เพื่อถอดเปลี่ยนยางถนอขนไก่ที่หักขาด รวมทั้งต้องการใช้ปริมาณยางถนอขนไก่มากขึ้น งานวิจัยจึงมีแนวคิดเกี่ยวกับการเสริมแรงยางถนอขนไก่ด้วยเส้นใยสังเคราะห์เพื่อพัฒนาสมบัติของยางถนอขนไก่ให้มีความแข็งแรง และทนทานต่อการใช้งานมากขึ้น โดยเส้นใยสังเคราะห์ที่นำมาเสริมเรานั้นมีทั้งหมด 2 ชนิด ได้แก่

1. เส้นใยอะรามิด (Kevlar) เป็นเส้นใยสังเคราะห์ที่มีความแข็งแรงและความทนต่อแรงดึงสูง และมีความหนาแน่นต่ำ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ยางที่เสริมแรงด้วยเส้นใยอะรามิดมีความแข็งแรงสูงและมีน้ำหนักเบา
2. เส้นใยจากใบสับปะรด (Pineapple leaf fiber) เป็นเส้นใยที่ได้จากใบสับปะรด ซึ่งจัดเป็นเส้นใยลิกโนเซลลูโลสที่มีโครงสร้างคล้ายริบบิ้นเชื่อมติดกัน ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ยางที่เสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดนี้มีความแข็งแรง [3]



รูปที่ 1.3 ตัวอย่างการเสียหายของยางถนอขนไก่จากการใช้งานที่หักจากการพับงอ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงสมบัติของยางถนอขนไก่ให้ดีขึ้น โดยใช้เส้นใยชนิดต่างๆ ได้แก่ เส้นใยอะรามิด และเส้นใยจากใบสับปะรด โดยศึกษาปัจจัยบางประการ ได้แก่ ผลของชนิดและปริมาณเส้นใย ผลของการใช้สารกระจายตัวที่เหมาะสม และผลของปริมาณฟีนอลิกเรซิน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาค้นคว้า และรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
- 2) ศึกษาการผสมสูตรยางระหว่างยางธรรมชาติกับมาสเตอร์แบชท์เส้นใยแต่ละชนิด โดยทำการปรับเปลี่ยนปริมาณของเส้นใย 0 2 4 6 8 และ 10 phr ใช้เครื่องผสมชนิดสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) และขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine)
- 3) เพื่อศึกษาชนิดของสารกระจายตัว (Struktol® WB 222 และ Ultralube® 250) และปริมาณของสารกระจายตัว (0 25 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใย) ที่เหมาะสมของเส้นใยแต่ละชนิด
- 4) เพื่อศึกษาปริมาณของฟีนอลิกเรซิน (0 1.5 และ 10 phr) ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลและการยึดติดระหว่างยางและเส้นใย (Interfacial adhesion)
- 5) ศึกษาสมบัติของยางผสมสูตรที่เตรียมได้โดยการนำไปทดสอบหาค่าต่างๆ ดังตาราง

ตารางที่ 1.1 แสดงมาตรฐานในการทดสอบสมบัติของยาง

สมบัติของยางผสมสูตร	มาตรฐานการทดสอบ
1. ความหนืดมูนนี่ (Mooney Viscosity)	ASTM D1646
2. ลักษณะการเชื่อมโยง (Cure characteristics)	ASTM D2084
- เวลาเริ่มเชื่อมโยง (Scorch time; t_{s2})	
- เวลาในการเชื่อมโยง (Cure time; t_{c90})	
- ดัชนีอัตราการเชื่อมโยง (Cure Rate Index; CRI)	
3. สมบัติเชิงกล (Mechanical properties)	
- ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength)	ASTM D412
- โมดูลัสของยางที่ 10 และ 100 เปอร์เซ็นต์ (Rubber Modulus; M10, M100)	ASTM D412
- เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด (%Elongation at break)	ASTM D412
- ความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength)	ASTM D624
- ความแข็งกด (Hardness)	ASTM D2240
- การต้านทานการขัดถู (Abrasion resistance)	DIN 53516:1987-06
- การต้านทานต่อการหักงอ (Flex cracking)	ASTM D1052
- การต้านทานต่อการหักงอ (Ross flex)	ASTM D813

- 6) สันฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) และกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope; OM)

- 7) วิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถปรับปรุงสมบัติของยางถอนขนไก่ให้มีความแข็งแรงทนทานมากขึ้น โดยการใช้เส้นใยสั้นเป็นตัวเสริมแรงในยางธรรมชาติ
- 2) สามารถนำวัสดุที่ใช้จากธรรมชาติ (เส้นใยจากใบสับปะรด) มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในอุตสาหกรรมยาง รวมไปถึงการช่วยลดต้นทุนในการสร้างผลิตภัณฑ์
- 3) สามารถใช้ความรู้ที่ได้ในการปรับปรุงยางถอนขนไก่ให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

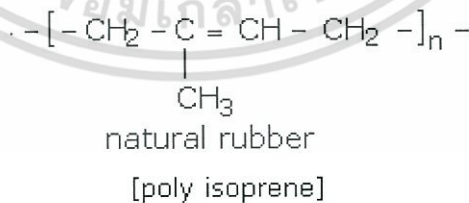
2.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber; NR)

2.1.1 ประวัติความเป็นมา

ยางธรรมชาติหรือยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย สายพันธุ์ยางธรรมชาติที่พบมากในประเทศไทยคือ ยางพารา ซึ่งได้จากต้นยางพาราที่มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ “ฮีเวีย-บราซิลเลียนซิส”(Hevea brasiliensis) ซึ่งมีสมบัติเชิงกลที่โดดเด่นแตกต่างจากยางสังเคราะห์ที่ผลิตได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ทำให้มีความนิยมนำมาใช้งานกันมากในปัจจุบัน [4]

2.1.2 โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมีคือ cis-1,4 Polyisoprene เนื่องจากส่วนประกอบของยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ทำให้ยางละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว โดยทั่วไปยางธรรมชาติที่มีโครงสร้างการจัดเรียงของโมเลกุลเป็นแบบอสัณฐาน (Amorphous) แต่ในบางสภาวะโมเลกุลของยางสามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบที่อุณหภูมิต่ำ หรือเมื่อดึงจึงจะสามารถเกิดผลึก (Crystallization) ได้ การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (Low temperature crystallization) จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นยางจะอ่อนตัวลงและกลับสู่สภาพเดิม ในขณะที่การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัว (Strain reduced crystallization) ทำให้สมบัติเชิงกลดี คือ ยางจะมีความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) และการต้านทานการขัดถู (Abrasion resistance) สูง [5]



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ [5]

2.1.3 สมบัติของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติมีสมบัติที่โดดเด่น คือ มีความยืดหยุ่นสูง ความแข็งแรงดึงสูง (Tensile strength) การยืดตัว ณ จุดขาดสูง (Elongation at break) ความแข็งแรงฉีกขาดสูง (Tear strength) และต้านทานการขัดถู (Abrasion resistance) ได้ดี [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 การใช้งานของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติถูกนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ผลิตภัณฑ์จำพวกถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ยางรัดของ ยางล้อรถยนต์ และเครื่องบิน เป็นต้น เนื่องจากมีสมบัติที่ดีหลายประการแม้ว่ายางจะมีสมบัติที่ดีที่เหมาะสมกับการผลิตผลิตภัณฑ์หลายๆอย่าง แต่ยางธรรมชาติก็มีข้อเสียหลัก คือ การเสื่อมสภาพเร็วภายใต้แสงแดด ออกซิเจน โอโซนและความร้อน เนื่องจากโมเลกุลของยางมีพันธะคู่ (Double bonds) อยู่มาก ทำให้ยางไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน และโอโซนโดยมีแสงแดดและความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นในการผลิตผลิตภัณฑ์เราจึงต้องมีการใส่สารเคมีบางชนิดเพื่อยืดอายุการใช้งาน [6]

2.2 สารเคมีสำหรับยาง

2.2.1 สารเชื่อมโยง (Vulcanizing or curing agents) [6]

เป็นสารที่ก่อให้เกิดการเชื่อมโยงกันเป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติระหว่างโมเลกุลของยาง (Crosslink) ตรงตำแหน่งที่ไวต่อปฏิกิริยาเพื่อปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์ยางให้ดีขึ้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเรียกว่า การคงรูป หรือ การวัลคาไนซ์ (Vulcanization หรือ Cure) ซึ่งจะส่งผลให้ยางมีสมบัติที่เปลี่ยนไป ยางจะเปลี่ยนไปเป็นเทอร์โมเซต ทำให้ความแข็งแรง มอดุลัส และการต้านทานต่อการขีดถูเพิ่มขึ้น เปลี่ยนสภาพของยางจากการละลายได้ในสารละลาย เป็นยางที่ไม่สามารถละลายได้ในสารละลายและไม่มีการบวมตัว การวัลคาไนซ์ยางที่ใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรมสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระบบใหญ่ๆ คือ

1) กำมะถัน (Sulfur)

นิยมใช้กันมากที่สุดในอุตสาหกรรมยางเพราะเป็นระบบที่มีต้นทุนต่ำ ปฏิกิริยาวัลคาไนซ์สามารถเกิดขึ้นได้เร็วและได้เป็นยางวัลคาไนซ์ที่มีสมบัติเชิงกลที่ดี ระบบนี้นิยมใช้กับยางทุกชนิดที่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุล โดยเฉพาะยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่ แต่ระบบนี้ก็มีข้อจำกัด คือไม่สามารถใช้วัลคาไนซ์ยางที่ไม่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุล เช่น ยางซิลิโคน (Silicone Rubber; Q) หรือ ยางเอทิลีนพรอพิลีน (Ethylene-Propylene Rubber; EPM) ได้

2) เพอร์ออกไซด์ (Peroxide)

การวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์จะสามารถใช้ได้กับยางทั้งที่มีพันธะคู่และไม่มีพันธะคู่ในโมเลกุล แต่ระบบนี้มีต้นทุนสูงกว่าระบบการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน รวมไปถึงยางวัลคาไนซ์ที่ได้มีสมบัติทั้งเชิงกลและเชิงพลวัตต่ำกว่า ประกอบกับเพอร์ออกไซด์จัดเป็นสารเคมีที่ค่อนข้างอันตราย การขนย้ายและการเก็บรักษาต้องทำด้วยความระมัดระวัง ทำให้การวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์นั้นจึงนิยมใช้กับยางที่ไม่มีพันธะคู่ในโมเลกุลหรือยางที่มีปริมาณพันธะคู่ในโมเลกุลต่ำมากเท่านั้น สำหรับยางอื่นๆ นิยมวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันมากกว่า ยกเว้นกรณีที่ต้องการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ทนต่อความร้อนได้ดี และมีค่าการเสียรูปถาวรหลังกด (Compression set) ต่ำเท่านั้น

3) สารเคมีอื่นๆ

มีการใช้น้อยหรือใช้ในกรณีที่จำเป็น เช่น การใช้โลหะออกไซด์ (แมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับซิงก์ออกไซด์) ในการคงรูปของยางคลอโรพรีน (Chloroprene; CR) หรือการใช้สารประกอบในกลุ่มควิโนนไดออกไซด์ (Quinone dioxide) นิยมใช้ในการวัลคาไนซ์ยางบิวทิล (Butyl Rubber; IIR) เป็นต้น

2.2.2 สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Accelerator)

สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง เป็นสารที่ช่วยเร่งปฏิกิริยาให้ยางคงรูปหรือปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ของยางให้เกิดเร็วขึ้น นอกจากนั้นยังช่วยลดการใช้กำมะถันให้น้อยลง และได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสม่ำเสมอยิ่งขึ้น สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยงที่ดีที่สุดจะสามารถทำใหยางคงรูปได้เร็วมีความว่องไวในการเร่งให้เกิดการเชื่อมโยงของโมเลกุลยางสูง ละลายได้ดีในยาง มีความปลอดภัยในกระบวนการผลิตสามารถเก็บรักษาได้นานโดยไม่เสื่อมสภาพ ใช้งานได้ช่วงอุณหภูมิกว้าง เข้ากันได้ดีกับสารเคมีอื่นๆ ที่ใส่เข้าไปในยาง และไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้ [6]

2.2.3 สารกระตุ้นปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Activator)

สารกระตุ้น หรือ สารเสริมตัวเร่ง (Activator) เป็นสารที่ช่วยเร่งอัตราการวัลคาไนซ์ยางให้เร็วขึ้น โดยการทำให้สารเร่งมีความว่องไวต่อปฏิกิริยา เพื่อทำให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้น [6]

2.2.4 สารตัวเติม (Filler) [6,7]

หมายถึง องค์ประกอบที่เติมเข้าไปในยางเพื่อลดต้นทุนในการผลิต และยังอาจใช้เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับยาง สารตัวเติมแบ่งตามหน้าที่ได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. สารตัวเติมประเภทเสริมความแข็งแรง (Reinforcing filler) เป็นสารตัวเติมที่ใส่เข้าไปในยางแล้วช่วยให้ยางมีสมบัติทางกายภาพดีขึ้น คือ มีความแข็งแรงดึง (Tensile strength) การต้านทานการขัดถู (Abrasion resistance) และความแข็งแรงฉีกขาดสูง (Tear strength) สารพวกนี้ได้แก่ เขม่าดำ (Carbon black) และซิลิกา (Silica) เป็นต้น
2. สารตัวเติมประเภทกึ่งเสริมความแข็งแรง (Semi-reinforcing filler) เป็นสารตัวเติมประเภทที่ใส่เข้าไปในยางแล้ว ช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับยางได้ส่วนหนึ่ง เช่น อลูมิเนียมซิลิเกต (Aluminum silicate) แคลเซียมซิลิเกต (Calcium silicate) และคาโอลิน (Kaolin)
3. สารตัวเติมประเภทช่วยลดต้นทุนการผลิต (Extending filler) เป็นสารที่ใส่ลงไปเพื่อจุดประสงค์ในการเพิ่มเนื้อ แต่ก็ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เช่นกัน เช่น สมบัติการทนต่อแรงดึงลดลง และสมบัติเชิงกลอื่นๆ เกิดการเปลี่ยนแปลงไป ทำให้กระบวนการผลิตยากหรือง่ายขึ้น สารพวกนี้ได้แก่ ไซนาเคลย์ (China clays) แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) แบไรท์ (Barytes) และแป้งทัลคัม (Talcum)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อันตรกิริยาระหว่างยางกับสารตัวเติม (Rubber-filler interaction)

ประสิทธิภาพในการเสริมแรงของสารตัวเติมจะขึ้นอยู่กับอันตรกิริยาหรือแรงกระทำระหว่างยางกับสารตัวเติม โดยที่อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นอาจอยู่ในรูปของแรงแวนเดอวาลส์ (Van der Waals force) ซึ่งเป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีค่าค่อนข้างต่ำหรืออาจอยู่ในรูปของพันธะเคมีซึ่งมีความแข็งแรงค่อนข้างสูง อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นจะไม่กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นผิวของสารตัวเติม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมีบนพื้นผิวของสารตัวเติมนั้นๆ เมื่อเกิดอันตรกิริยาระหว่างยางกับสารตัวเติม ยางจะมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างสูงขึ้นเนื่องจากสายโซ่โมเลกุลยางจะมีความสามารถในการเคลื่อนที่น้อยลง

มีการสร้างแบบจำลองหลายรูปแบบเกี่ยวกับอันตรกิริยาระหว่างสารตัวเติมเข้ากับยางที่สายโซ่ของยางสามารถโดนกักอยู่ในช่องว่างของกลุ่มสารตัวเติม จึงทำให้สายโซ่ไม่สามารถเคลื่อนไหวได้ นอกจากนี้ชั้นยางที่แนบติดบนพื้นผิวของอนุภาคสารตัวเติม ก็มีลักษณะการเคลื่อนไหวได้น้อย (Immobilized rubber) หรือสถานะคล้ายแก้ว ยางที่ไม่สามารถเคลื่อนไหวได้มีสาเหตุมาจากอันตรกิริยาทางกายภาพหรือปฏิกิริยาเคมี เช่น กรณีที่เกิดจากระบบการเติมสารคู่ควบ (Coupling agents) เรียกว่า In-rubber structure ซึ่งหมายถึง อันตรกิริยาระหว่างสารตัวเติมกับยางที่แข็งแรง กลุ่มก้อนของสารตัวเติมรวมทั้งยางที่เคลื่อนไหวได้น้อยนี้มีพฤติกรรมแบบเดียวกับอนุภาคแข็ง (Rigid particle) ซึ่งไม่มีความยืดหยุ่น ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของ In-rubber structure ส่งผลให้มอดูลัสของยางเพิ่มขึ้น

2.2.5 พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer) [7]

สารที่ใส่เข้าไปในยาง เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและความสามารถในการใช้งาน เรียกว่า พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer) ซึ่งพลาสติไซเซอร์จะทำให้ความแข็งของยางลดลง และช่วยให้ขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น หน้าที่หลักของพลาสติไซเซอร์ คือ ช่วยในการแปรรูปยาง เปลี่ยนแปลงสมบัติของยางลดต้นทุน การใช้งานที่อุณหภูมิต่ำและลดพลังงานในการแปรรูปยาง ยางอ่อนตัว (โดยไม่เกิดปฏิกิริยาทางเคมี) เพื่อช่วยให้กระบวนการผลิตง่ายขึ้น เร็วขึ้น และช่วยลดอุณหภูมิการผลิตให้ต่ำลง นอกจากนี้ยังช่วยในการอัดแบบพิมพ์ (Molding) ขณะทำเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงลดลงด้วย สารช่วยในการแปรรูปยางแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. สารช่วยทำให้ยางนิ่มโดยทางเคมี (Chemical plasticizer) คือสารที่ใส่เข้าไปในยางในปริมาณน้อยจะทำให้ยางนิ่ม และลดเวลาของการบดยางลง บางครั้งเรียกว่า เปปไทเซอร์ (Peptizer) ได้แก่ กรดซัลโฟนิก (Sulphonic acid) และไซลิว เมอร์แคปแทน (Xylyl mercaptan)

2. สารช่วยทำให้ยางนิ่มโดยทางกายภาพ (Physical plasticizer) เป็นสารที่ใส่เข้าไปแล้ว จะทำหน้าที่เป็นตัวหล่อลื่นระหว่างโมเลกุลยาง ทำให้โมเลกุลของยางเคลื่อนไหวได้ง่าย ยางจะมีความแข็งแรง

ลดลง แปรรูปได้ง่ายขึ้น เป็นสารที่ไม่มีปฏิกิริยากับยาง และเป็นสารที่จะต้องรวมผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดียวกัน (Compatible) กับยางและสารอื่นๆได้ ได้แก่ น้ำมันปิโตรเลียม (Petroleum oil) และน้ำมันเอสเทอร์ (Ester)

2.2.6 สารป้องกันการเสื่อมสภาพของยาง (Protective agent)

อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากยางจะเกิดการเสื่อมสภาพขึ้นเรื่อยๆ การเสื่อมสภาพของยางนี้ เรียกว่า Degradation ซึ่งสาเหตุการเสื่อมสภาพของยางเกิดเนื่องจากโมเลกุลยางถูกทำให้เปลี่ยนแปลงโดยออกซิเจนและโอโซน และยางแต่ละชนิดจะมีขีดจำกัดในการทนต่อการเสื่อมสภาพของยางที่โครงสร้างโมเลกุลมีหมู่ที่ไม่อิ่มตัวจะอ่อนแอ และง่ายต่อการเกิดปฏิกิริยา การเสื่อมสภาพของยางจะเกิดช้ามากถ้าไม่มีตัวเร่ง แต่ในธรรมชาติ เช่น แสง ความร้อน ความไม่บริสุทธิ์ของโลหะจะเป็นตัวเร่งตามธรรมชาติที่ทำให้ยางเสื่อมสภาพเร็วขึ้น นอกจากนี้ช่วงที่มีการอบยาง (Aging) ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์จะเกิดการเปลี่ยนแปลง หรืออาจจะเกิดการเปลี่ยนแปลงในทุกส่วนของผลิตภัณฑ์ เช่น เกิดรอยแตกที่ผิว ผิวแข็ง และสูญเสียความแข็งแรง จึงจำเป็นต้องมีสารป้องกันการเสื่อมสภาพของยาง โดยใช้สารแอนติออกซิแดนท์ (Antioxidant) หรือ สารแอนติโอโซนแนนท์ (Antiozonant) ซึ่งสารทั้ง 2 ชนิด จะทำให้อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ยางยาวขึ้น [6]

1. สารแอนติออกซิแดนท์ เป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพของยาง เนื่องมาจากการที่ออกซิเจน (Oxygen; O_2) เข้าทำปฏิกิริยากับยาง ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation)
2. สารแอนติโอโซนแนนท์ เป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพของยาง เนื่องจากโอโซน (Ozone; O_3) มีผลต่อยาง โดยทำให้ยางเกิดรอยแตก กล่าวคือ เกิดปฏิกิริยาโอโซนเนชัน (Ozonation)

2.2.7 พอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol; PEG)

เป็นสารช่วยเพิ่มการกระจายตัวของสารตัวเติม ทำให้สารตัวเติมสามารถจะรับแรงกระทำได้ดีขึ้น โดยรับแรงได้ทั่วถึงทั้งชิ้นงานมากขึ้น นอกจากนั้นการใช้ PEG ยังสามารถลดการดูดสารเติมแต่งที่มีขั้วของสารตัวเติม เช่น ซิงค์ออกไซด์และสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยง เป็นต้น [8]

2.3 เส้นใยเสริมแรง

2.3.1 เส้นใยอะรามิด (Aramid)

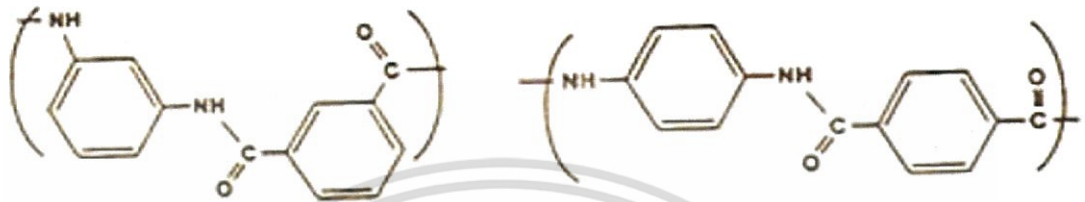
คำว่า “อะรามิด (Aramid)” ได้ถูกกำหนดขึ้น โดย The Federal Trade Commission ของประเทศสหรัฐอเมริกา ในปี พ.ศ. 2517 เนื่องจากเป็นเส้นใยที่มีลักษณะเป็นวงเบนซินต่อกันสลับกับหมู่ฟังก์ชันเอไมด์ ต่อกันเป็นสายโซ่ตรง

ในตลาดปัจจุบัน พบว่ามีเส้นใยอะรามิดอยู่ 2 ชนิด ซึ่งทั้ง 2 ชนิดถือว่าเป็นเส้นใยสมรรถนะสูง โดยที่ชนิดแรกมีสมบัติในการทนความร้อน ซึ่งมีหมู่ Meta-aramid อยู่ แต่มีสมบัติด้านความเหนียวอยู่ในระดับปานกลาง ส่วนมอดูลัสมีค่าต่ำ อย่างไรก็ตาม สมบัติทางด้านทานความร้อนดีมาก (ทนได้ 600-800 องศาเซลเซียส) ใช้สำหรับเป็นเสื้อผ้าทนความร้อน และสมบัติเป็นฉนวนกันกระแสไฟฟ้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างเช่น เส้นใยอเมริกาซ์ (บริษัท ดูปองท์ จำกัด) และเส้นใยโคเน็กซ์ (บริษัท เทยีน คอร์ปอเรชัน จำกัด)

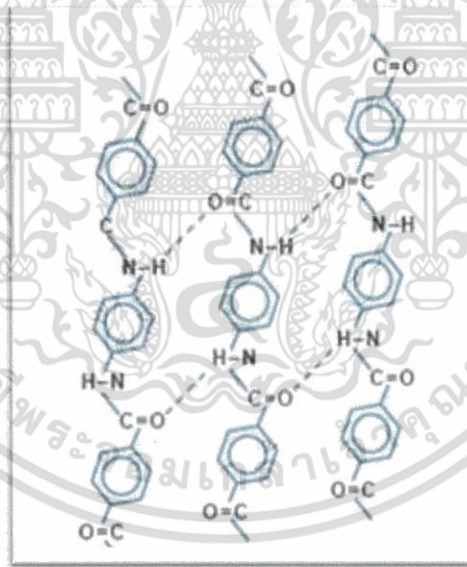
ในช่วง 2513-2523 บริษัท ดูปองท์ จำกัด ได้คิดค้นเส้นใยชนิดที่สองในตระกูลนี้ โดยมีชื่อทางการค้าว่า “เคฟลาร์ (Kevlar)” เส้นใยใหม่นี้มีหมู่ Para-aramid ทำให้เกิดสมบัติที่ดีขึ้นหลายประการ เช่น ความแข็งแรงและค่ามอดุลัสสูงขึ้นไปจนถึงมีความคงทนต่อความร้อนสูงอีกด้วย [9]



(ก) Meta-aramid

(ข) Para-aramid

รูปที่ 2.2 โครงสร้างเส้นใยอะรามิด (เคฟลาร์) [9]



รูปที่ 2.3 ภาพแสดงการเกาะตัวกันของโซ่โมเลกุลของเคฟลาร์ด้วยพันธะไฮโดรเจน [9]

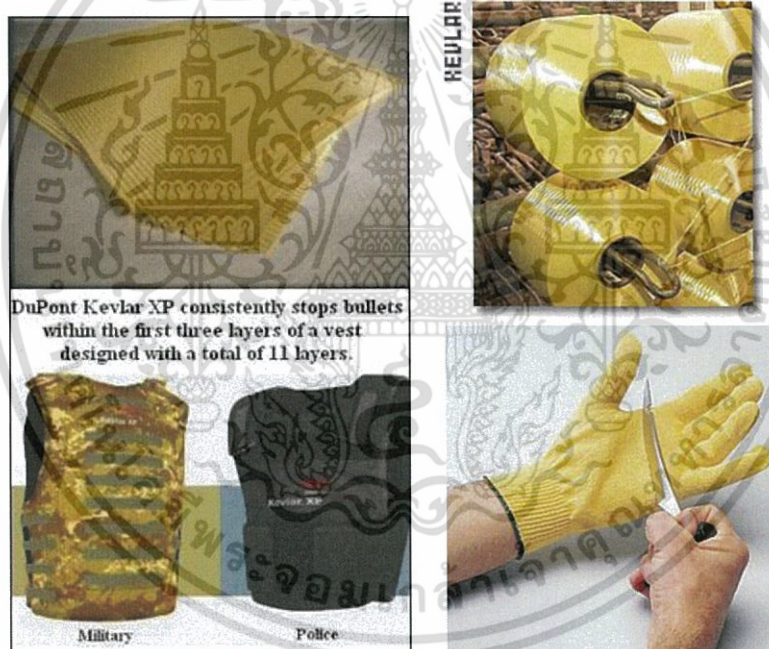
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติที่เด่นของเส้นใย

ตามธรรมชาติเคฟลาร์จะมีสีเหลือง มีความหนาแน่นต่ำ ทำให้ผ้ามีน้ำหนักเบา ความแข็งแรงสูง มีความคงทนต่อการกระแทก คงทนต่อการขีดถู คงทนต่อสารเคมี คงทนต่อการสลายตัวด้วยความร้อน ความคงทนต่อการถูกตัด (เหมาะสำหรับทำเสื้อป้องกันการถูกแทง สำหรับตำรวจ) เส้นใยเคฟลาร์บางเกรดอาจจะถูกทำลายหรือสลายตัวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้ แต่สามารถกันไฟได้ดี เมื่อติดไฟจะดับเอง สมบัติการนำไฟฟ้าต่ำ (เหมาะกับการทำสายเคเบิล) ฯลฯ

การนำไปใช้งาน

เส้นใยอะรามิดถูกนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ทำเสื้อเกราะกันกระสุน ถุงมือ เสื้อผ้าสำหรับนักขี่จักรยานยนต์ ใบเรือสำหรับเรือใบ สายเคเบิลสำหรับไฟเบอร์ออฟติก ชิ้นส่วนของเครื่องบิน เสื้อผ้ากันไฟ หมวกกันไฟ สำหรับนักแข่งรถยนต์หรือนักผจญเพลิง ยางรถยนต์ เชือก ฯลฯ [9-10]



รูปที่ 2.4 ผลิตภัณฑ์จากเส้นใยอะรามิด [9]

2.3.2 เส้นใยจากใบสับประรด (Pineapple Leaf Fiber) [13]

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการปลูกและส่งออกสับประรดรายใหญ่ของโลก จึงมีขยะที่เกิดจากใบสับประรดจำนวนมาก และเกษตรกรจะกำจัดโดยการหมักเป็นปุ๋ยหรือเผาทำลาย ซึ่งการเผาทำลายนั้นก่อให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมมากมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างทางเคมีและองค์ประกอบของเส้นใยจากใบสับปะรด

เส้นใยจากใบสับปะรดมีองค์ประกอบ คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส โอลิเซลลูโลส (Holocellulose) ลิกนิน เพคติน (Pectin) ไขมัน และเถ้า ปริมาณองค์ประกอบเหล่านี้แตกต่างกันไปตามแหล่งที่มาอายุ สภาพอากาศ และวิธีการสกัด

หน่วยที่เล็กที่สุดในโครงสร้างของเส้นใยจากใบสับปะรด คือ แอนไฮโดร-ดี-กลูโคสโคไพรานอส (Anhydro-D-glucose copyranose) ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลสามหมู่ ทำหน้าที่สร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล และภายในโมเลกุล (Intramolecular and intermolecular hydrogen bonds) ของแอนไฮโดร-ดี-กลูโคสโคไพรานอส หรือกับความชื้นในอากาศ เส้นใยชนิดนี้จึงมีสมบัติชอบน้ำ และสมบัตินี้ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิต (Composites) ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากใบสับปะรด

สมบัติของเส้นใยจากใบสับปะรด

เส้นใยจากใบสับปะรดเป็นเส้นใยเสริมแรงให้แก่คอมโพสิต เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลที่ดีหลายประการ คือ ความแข็งแรงดึงสูง (Tensile strength) อย่างไรก็ตามขณะที่เส้นใยเปียก ค่าความแข็งแรง (Wet bundle strength) จะลดลงถึง 50%

2.4 มาสเตอร์แบทช์

มาสเตอร์แบทช์เป็นของผสมระหว่างยางและสารเคมีต่างๆ ที่รู้ปริมาณที่แน่นอนผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมการผสมขั้นตอนสุดท้ายในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ มาสเตอร์แบทช์อาจจะใช้เพื่อความสะดวกในการผลิตหรือเพื่อเพิ่มสมบัติของผลิตภัณฑ์หรือทั้งสองอย่าง เช่น ใช้ในกรณีที่สารเคมีกระจายในยางได้ไม่ดี หรือในกรณีที่มีการใช้สารเคมีนั้นน้อยมาก อาจจะก่อให้เกิดการผิดพลาดได้ง่าย ถ้าสารเคมีฟุ้งกระจายหายไป มาสเตอร์แบทช์ที่นิยม คือ มาสเตอร์แบทช์สี เป็นสีในปริมาณความเข้มข้นสูง ที่ถูกทำให้กระจายตัวในตัวนำ (Carrier) เวลาใช้จะนำไปผสมกับพอลิเมอร์ เพื่อลดความเข้มข้นของสีลง โดยทั่วไปจะใช้มาสเตอร์แบทช์ประมาณ 2-5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเก็บเม็ด Precompound การเปลี่ยนสีก็ทำได้โดยการเปลี่ยนสีเม็ดมาสเตอร์แบทช์ที่นำมาผสม หรือนำมาสเตอร์แบทช์มาผสมกันเอง เพื่อให้เกิดสีใหม่ การเพิ่มความเข้มก็สามารถทำได้ โดยเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของมาสเตอร์แบทช์ที่เติมลงไป นอกจากสีแล้ว มาสเตอร์แบทช์ยังสามารถเป็นสารตัวเติม (Additive) หรือสารเพิ่มเนื้อ (Filler) ได้ [14]

2.5 สารกระจายตัว

สารกระจายตัว (Dispersing agents) คือ สารเคมีที่เติมเข้าไปเพื่อช่วยให้สารเติมแต่งต่างๆ กระจายตัวในยางได้อย่างทั่วถึง ทำให้ยางคอมปาวด์มีสมบัติในแต่ละส่วนเท่ากัน

สารกระจายตัวที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่

1. Struktol® WB 222

- **ลักษณะทั่วไป [15]**

- Aliphatic fatty acid ester

- **สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์**

- สี : สีขาว-สีน้ำตาลอ่อน

- รูปร่างทางกายภาพ : เป็นผง

- จุดหลอมเหลว : 55-60 องศาเซลเซียส

- ค่าความถ่วงจำเพาะ : 0.95

- **การใช้งาน**

- เป็นสารเติมแต่งในกระบวนการผลิตสำหรับยาง ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตยางคอมปาวด์ ช่วยลดเวลาในการผสม โดยการทำให้สารตัวเติมรวมตัวกันได้เร็วขึ้น ป้องกันการเหนียวติดของยางและสารเคมียางบนโรเตอร์และลูกกลิ้ง นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มการกระจายตัวของสารตัวเติมอีกด้วย

2. Ultralube® 250 [16]

- **ลักษณะทั่วไป**

- เป็นส่วนผสมของกรดไขมัน

- **สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์**

- สี : สีขาว

- รูปร่างทางกายภาพ : เป็นผง

- จุดหลอมเหลว : 60 องศาเซลเซียส

- ค่าความถ่วงจำเพาะ : 1.15

- **การใช้งาน**

- เป็นสารเติมแต่งที่ใช้ในกระบวนการผลิตพอลิเมอร์ ปรับปรุงสมบัติต่างๆ เช่น สมบัติการไหล และสมบัติการกระจายตัว ซึ่งโครงสร้างทางเคมีจะไม่ส่งผลต่อระบบการเชื่อมโยงของยาง

2.6 คอมโพสิต (Composites)

คอมโพสิต (Composites) คือ วัสดุที่ประกอบด้วยส่วนประกอบอย่างน้อยสองชนิดขึ้นไปที่มีสมบัติต่างกัน เมื่อผสมเป็นคอมโพสิตแล้วจะมีสมบัติที่ดีกว่าแต่ละองค์ประกอบย่อย

คอมโพสิตจัดเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน และมีปริมาณการใช้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากคอมโพสิตมีข้อดีหลายประการ เช่น น้ำหนักเบา แข็งแรง ค่ามอดุลัสต่อน้ำหนักสูง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรรมวิธีในการขึ้นรูปง่าย และต้นทุนในการผลิตต่ำ มีสมบัติที่ใกล้เคียงวัสดุเดิม และสามารถประยุกต์ใช้งานแทนวัสดุอื่นได้ เช่น โลหะ เซรามิก และไม้

2.6.1 ชนิดของคอมโพสิต

1.คอมโพสิตแบบอนุภาค (Particulate composites) เกิดจากการกระจายอนุภาคในเมตริกซ์ ซึ่งอนุภาคจะมีรูปร่างการจัดเรียงตัว และขนาดต่าง ๆ กัน อาจเป็นผง หรือเม็ด ตัวอย่างคอมโพสิต ชนิดนี้ ได้แก่ คอนกรีต และพาร์ทิเคิลบอร์ด เป็นต้น

2.คอมโพสิตแบบลามินาร์ (Laminar composites) เกิดจากการยึดติดระหว่างแผ่นวัสดุกับเมตริกซ์โดยอัดเป็นชั้นๆ ด้วยความดันสูงมีลักษณะคล้ายแซนวิช ตัวอย่างคอมโพสิตชนิดนี้ ได้แก่ กระจาด หรือฟิล์ม เป็นต้น

3. คอมโพสิตแบบเส้นใย (Fibrous composites) เกิดจากเส้นใยเสริมแรงในเมตริกซ์โดยเส้นใยที่นำมาใช้นั้นมีด้วยกันหลายประเภท เช่น เส้นใยคาร์บอน (Carbon fibers) เส้นใยอินทรีย์ (Organic fibers) เส้นใยอะรามิด (Aramid fibers) เส้นใยแก้ว (Glass fibers) หรือเส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers) เป็นต้น

2.6.2 องค์ประกอบของคอมโพสิต

1. ส่วนเมตริกซ์ (Matrix phase)

เมตริกซ์ คือ วัสดุที่เป็นโครงสร้างหลัก เป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ของวัสดุผสม โดยทั่วไปจะมีความเหนียวสูง แต่มีความแข็งแรง และมอดุลัสต่ำกว่าสารเสริมแรง เมตริกซ์เป็นส่วนที่มีความต่อเนื่อง (Continuous phase) และปกคลุมส่วนเสริมแรงช่วยยึดติดส่วนเสริมแรงเข้าไว้ด้วยกัน เมื่อเมตริกซ์ได้รับการกระทำภายนอกกระทำ การกระทำจะถูกส่งผ่านจากเมตริกซ์ไปสู่ส่วนเสริมแรงเมตริกซ์ที่นิยมใช้ ได้แก่ พอลิเมอร์ โลหะ เป็นต้น

หน้าที่หลักของเมตริกซ์ในคอมโพสิต มีดังนี้

1. คงความเสถียรในรูปร่างและขนาดของวัสดุคอมโพสิต
2. รักษาการกระจายตัว และการยึดเกาะของเส้นใย
3. ทำให้สามารถทนต่อการเสียหายภายใต้อุณหภูมิ หรือแรงกระทำที่ระดับหนึ่งๆ
4. สามารถกระจาย หรือส่งถ่ายแรงที่ได้รับจากภายนอกไปยังเส้นใยได้
5. ช่วยให้ทนทานต่อสภาพแวดล้อม และมีความเสถียรในตัวกลางต่างๆ

พอลิเมอร์เมตริกซ์ โดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. เทอร์โมเซต (Thermoset) พอลิเมอร์กลุ่มนี้เมื่อผ่านกรรมวิธีการผลิตจะมีรูปทรงถาวรผลิตผลที่ได้ไม่สามารถนำไปหลอมขึ้นรูปซ้ำ และไม่ละลายในคำทำละลายไม่เกิดกระบวนการร่างแห แต่เมื่อผ่านกระบวนการโดยให้ความร้อน หรือความดันเข้าไปจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างเกิดการเชื่อมโยง (Crosslinking) ระหว่างสายโซ่โมเลกุลทำให้ผลผลิตที่ได้มีความคงทนไม่หลอมละลาย ถ้าให้ความร้อนมากๆจะไหม้ และสมบัติเปลี่ยนไปจากเดิม

2. เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) จะละลายได้ดีในตัวทำละลายบางชนิด เมื่อถูกความร้อนสามารถหลอมตัวได้ และเมื่อเย็นลงก็แข็งตัว สามารถทำให้หลอม และแข็งตัวหลายๆครั้ง โดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีเปลี่ยนแปลงไป อาจแยกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเทอร์โมพลาสติกอสัญฐาน (Amorphous thermoplastic) และเทอร์โมพลาสติกที่มีผลึกบางส่วน (Semi-crystalline thermoplastic)

เทอร์โมพลาสติกจะไม่เกิดการเชื่อมโยง ดังนั้นความแข็งแรงเป็นผลโดยตรงจากสมบัติของหน่วยซ้ำ หรือมอนอเมอร์ และน้ำหนักโมเลกุลที่สูง เทอร์โมพลาสติกอสัญฐานจะมีการพันกันของสายโซ่โมเลกุลซึ่งจะส่งผลคล้ายกับการเกิดการเชื่อมโยง และในพอลิเมอร์ที่สามารถตกผลึกได้จะมีการจัดเรียงตัวที่ดีทำให้เมตริกซ์มีความแข็งแรง สมบัติของเทอร์โมพลาสติกจะขึ้นกับองค์ประกอบเป็นผลึก สัณฐานวิทยา และการจัดเรียงตัวของผลึก ซึ่งจะขึ้นกับสถานะในการผลิตตัวอย่างเทอร์โมพลาสติก เช่น พอลิเอไมด์ พอลิสไตรีน พอลิพอฟิลีน และพอลิเอทิลีน เป็นต้น

2. ส่วนเสริมแรง

ส่วนเสริมแรง คือ ส่วนประกอบที่ทำให้คอมโพลีเมอร์มีความแข็งแรงสูงขึ้น มักเป็นส่วนที่ไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous phase) มีความแข็งแรงกว่าเมตริกซ์ เป็นส่วนรับแรงที่ถูกส่งผ่านมาจากเมตริกซ์ ขนาด และรูปร่างของสารเสริมแรงเป็นตัวแปรที่สำคัญมากตัวแปรหนึ่งที่ส่งผลถึงประสิทธิภาพในการเสริมแรง ซึ่งอาจจะมีลักษณะเป็นแผ่น อนุภาคเล็กๆ หรือเส้นใยก็ได้ วัสดุเสริมแรงที่นิยมใช้ คือ เส้นใยแก้ว เส้นใยธรรมชาติ เป็นต้น

หน้าที่ของส่วนเสริมแรง

1. เพิ่มความแข็งแรงทนทาน ความเหนียว การคืบ ความมีเสถียรภาพให้กับวัสดุผสม
2. รับแรงกระทำจากภายนอก โดยแรงกระทำนั้นจะถูกถ่ายทอดไปตามเส้นใย หรืออนุภาค

สมบัติของเส้นใยที่เหมาะสมสำหรับการเสริมแรง

1. มีมอดุลัสยืดหยุ่นสูงเพื่อประสิทธิภาพในการเสริมแรง
2. เส้นใยควรมีความแข็งแรงสูง
3. ความแข็งแรงของเส้นใยแต่ละเส้นไม่ควรแตกต่างกันมาก
4. เส้นใยควรจะเสถียร และรับความแข็งแรงขณะจัดเก็บ และขึ้นรูปได้
5. ส่วนศูนย์กลาง และพื้นผิวของเส้นใยควรมีลักษณะเหมือนกัน

ปัจจัยสำคัญของเส้นใยที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิต

1. การกระจายของเส้นใย (Fibers dispersion)

วัสดุคอมโพสิตที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีนั้น ต้องมีการกระจายเส้นใยในเมตริกซ์ที่ดี มีความสม่ำเสมอ โดยปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการกระจายเส้นใยในเมตริกซ์ คือ การเกิดอันตรกิริยาระหว่างเส้นใยกับเส้นใยด้วยตัวเอง และความยาวของเส้นใยที่ใช้ จากปัจจัยดังกล่าวนี้ จะส่งผลต่อการเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน (Agglomerate) ในระหว่างการผสมเส้นใย กล่าวคือ โดยธรรมชาติแล้ว เส้นใยธรรมชาติจะเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนระหว่างการผสมได้ง่าย เนื่องจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนของเซลลูโลสจากเส้นใยจับกับเส้นใยด้วยตัวเอง ดังนั้น วิธีที่จะทำการลดการเกิดการเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนของเส้นใยทำได้โดยการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใย

2. การยึดเกาะกันระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์ (Fibers-matrix adhesion)

การยึดเกาะกันระหว่างผิวหน้ากับเส้นใยกับเมตริกซ์มีความสำคัญต่อสมบัติเชิงกล สมบัติทางกลศาสตร์เชิงพลศาสตร์ และสมบัติการไหล (Rheology) ของคอมโพสิต เนื่องจากเกิดการส่งผ่านความเค้น (Stress) จะเกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าของเมตริกซ์และเส้นใย แก้ไขโดยการเติมตัวเชื่อมประสานทำให้สามารถปรับปรุงการยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์ให้เพิ่มขึ้นได้

3. การจัดเรียงตัวของเส้นใย (Fibers orientation)

การจัดเรียงตัวของเส้นใยในเมตริกซ์ ถือว่ามีบทบาทที่สำคัญเกี่ยวกับแอนไอโซโทรปี (Anisotropy) ในเมตริกซ์ เส้นใยที่ยามาเสริมแรงจะมีทิศทางของการจัดเรียงตัวขึ้นอยู่กับธรรมชาติของการไหล เช่น การไหลแบบคอนเวจเนนต์ (Convergent flow) เส้นใยจะมีการจัดเรียงตัวเป็นเส้นตรงในทิศทางตามแนวยาว แบบไดเวจเนนต์ (Divergent flow) เส้นใยจะมีการจัดเรียงตัวในทิศทางตามแนวขวาง ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบหัวตายของเครื่องอัดรีด (Extruder) เพื่อควบคุมการจัดเรียงตัวของเส้นใย

4. ปริมาณของเส้นใย (Fibers concentration)

ปริมาณของเส้นใยที่ใช้ในการเสริมแรงในยาง ถ้าใช้ปริมาณเส้นใยที่น้อย ส่งผลให้สมบัติเชิงกลของยาง ที่ได้มีค่าต่ำลง ซึ่งการเติมปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้นจะช่วยปรับปรุงสมบัติความทนต่อแรงดึง โดยเฉพาะค่าความแข็งแรงที่สูงกว่าพอลิเมอร์เริ่มต้น อย่างไรก็ตามการเติมปริมาณเส้นใยที่มากเกินไป อาจทำให้สมบัติเชิงกลลดลงได้

2.7 การออกสูตรยาง

เป็นขั้นตอนที่สำคัญมากในการทำผลิตภัณฑ์ยาง เพราะถ้ามีการผิดพลาดในส่วนนี้ก็จะส่งผลต่อกระบวนการแปรรูปและสมบัติของผลิตภัณฑ์ ยางมีความแตกต่างจากพลาสติก เนื่องจากไม่สามารถทำผลิตภัณฑ์จากตัวเองได้เพียงอย่างเดียวจึงจำเป็นต้องใส่สารเคมีต่างๆ เข้าไปในยาง เพื่อให้ได้เป็นยางคอมพาวด์ (Rubber compound) ซึ่งสูตรที่ใช้ในการผสมนั้น จะขึ้นอยู่กับการใช้งาน ดังนั้น เอกสารการออกสูตรเป็นขั้นตอนที่สำคัญมากในการทำผลิตภัณฑ์ยาง ถ้าผิดพลาดในส่วนนี้ผลิตภัณฑ์ยางที่ออกมาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

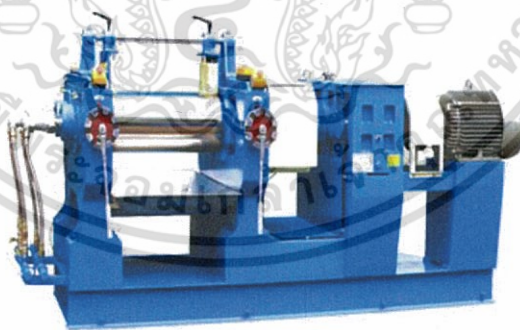
ทำออกมาที่จะบอกพร้อมต่อการใช้งาน การออกสูตรยางโดยทั่วไป มีจุดมุ่งหมายหลัก 4 ประการ คือ เพื่อให้ได้มาตรฐานของสมบัติตามที่ต้องการ เพื่อการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ เพื่อควบคุมต้นทุนหรือราคาตามที่ต้องการ และเพื่อแก้ปัญหาเฉพาะหน้า ผลิตภัณฑ์ยางโดยทั่วไปมักจะมีมาตรฐานกำหนดไว้เสมอ มาตรฐานทั่วไปจะกำหนดด้วยรูปร่าง ลักษณะ และสมบัติทางเคมีหรือฟิสิกส์ [6-7]

2.8 การผสมยาง

การผสมยาง (Rubber compound) คือ ขั้นตอนการผสมยางดิบ (ยางธรรมชาติหรือยางสังเคราะห์ที่ยังไม่ผ่านการเชื่อมโยงหรือการวัลคาไนซ์) กับสารเคมียางและสารเติมแต่งต่างๆ ของยาง ซึ่งเครื่องที่ใช้ในการผสมยางมีหลายชนิด ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เครื่องผสมแบบเปิดชนิดสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) และเครื่องผสมแบบปิด (Kneader) [17-19]

เครื่องผสมแบบเปิดชนิดสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill)

เครื่องผสมยางชนิดสองลูกกลิ้งเป็นเครื่องผสมแบบเปิด ประกอบด้วยลูกกลิ้งสองลูก เรียงตัวในแนวขนานกัน เคลื่อนที่แบบหมุนเข้าหากันด้วยความเร็วต่างกัน ทำให้เกิดแรงเฉือนระหว่างการบิดผสมยางกับสารเคมี ในขั้นตอนการผสมยางและสารเคมีจะต้องใส่ยางลงในช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง ยางจะถูกรีดออกมาเป็นแผ่นและพันรอบลูกกลิ้งด้านหน้า จากนั้นจึงเติมสารเคมียาง โดยผู้ผสมต้องทำการกรี๊ดและพับแผ่นยางไปมา (Cut and fold) ในขณะที่ทำการเติมสารเคมีลงไป ในยาง ซึ่งยางที่ผ่านการกรี๊ด และพับจะถูกใส่กลับไปยังช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง แรงเฉือนที่เกิดขึ้นระหว่างการผสมจะช่วยทำให้สารเคมีต่างๆกระจายตัวเข้ากับเนื้อยางได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากต้องใช้ความชำนาญ และกำลังคนในการผสม เครื่องผสมแบบเปิดชนิดสองลูกกลิ้งจึงผสมยางได้ในปริมาณไม่มากนัก [17]

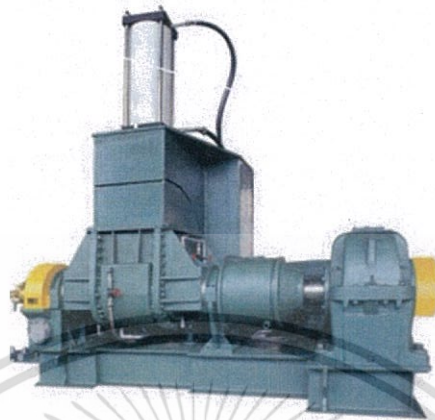


รูปที่ 2.5 เครื่องผสมแบบเปิดชนิดสองลูกกลิ้ง [17]

เครื่องผสมแบบปิด (Kneader)

เครื่องผสมแบบปิดหรือนิตเตอร์เป็นเครื่องผสมแบบปิดชนิดที่มีการจำหน่ายในเชิงการค้าและมีการผลิตในประเทศแถบเอเชีย แม้ว่าเครื่องนิตเตอร์จะมีหลักการทำงานคล้ายกับเครื่องผสมแบบปิดแบบบูรี (Banbury internal mixer) แต่รูปแบบของโรเตอร์แตกต่างจากโรเตอร์ของเครื่องผสมแบบปิดแบบบูรีมาก ทำให้ประสิทธิภาพในการผสมต่ำกว่าเครื่องผสมแบบปิดแบบบูรีมาก อย่างไรก็ตาม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากเครื่องนืดเตอร์มีราคาต่ำกว่าเครื่องผสมแบบปิดแบบนบุรีมาก จึงเป็นที่นิยมสำหรับผู้ประกอบการไทยปัจจุบัน



รูปที่ 2.6 เครื่องผสมแบบปิด (Kneader) [17]

2.9 การทดสอบสมบัติของยาง

2.9.1 ศึกษาลักษณะการเชื่อมโยงยาง (Cure characteristic) [20]

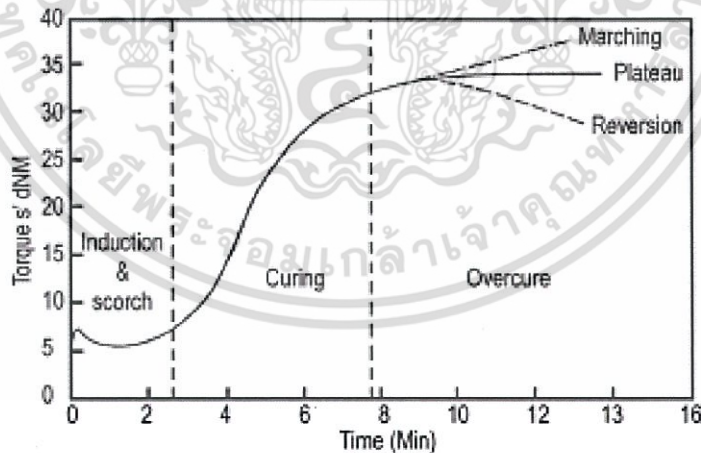
เครื่องวัดการเชื่อมโยงออสซิลเลตติ้ง (Oscillating Disc Rheometer; ODR) เป็นเครื่องมือที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อใช้สำหรับศึกษาลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางโดยตรง ตัวเครื่องประกอบด้วยโรเตอร์ (Rotor) ที่เคลื่อนที่อยู่ในช่องว่างระหว่างตายบน (Upper die) และตายล่าง (Lower die) เช่นเดียวกับเครื่องมูนนี่วิสโคมิเตอร์ อย่างไรก็ตามโรเตอร์ของเครื่อง ODR มีรูปร่างเป็นรูปโคนคู่ประกบ (biconical shape) และการเคลื่อนที่ของโรเตอร์ในระหว่างการทดสอบจะเป็นแบบแกว่ง (ไม่ใช่แบบหมุนเหมือนในกรณีของเครื่องมูนนี่วิสโคมิเตอร์) โดยการแกว่งของโรเตอร์จะเกิดขึ้นเป็นมุมแคบๆ (1° หรือ 3°) ด้วยความถี่ 1.67 เฮิร์ต (Hz) หรือ 100 รอบต่ออนาที เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการทำลายโครงร่างตาข่าย 3 มิติของยางวัลคาไนซ์ จากนั้นเครื่องก็จะบันทึกแรงบิดที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาของการทดสอบ



รูปที่ 2.7 เครื่องวัดการเชื่อมโยงไอตืออาร์ [27]

จากรูปที่ 2.8 แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของยางในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาควบรูปแบ่งออกเป็น 3 ช่วงคือ

1. ขั้นเริ่มต้น (Introduction period) ในขั้นนี้ความหนืดของยางจะลดลงเนื่องจากความร้อน แต่จะยังไม่มีการเกิดปฏิกิริยาควบรูป
2. ขั้นการเกิดพันธะเคมี (Curing of vulcanization) เชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล ซึ่งอัตราความเร็วของการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ คือ อุณหภูมิ ชนิดของยาง และระบบของสารที่ใช้ทำให้ยางควบรูป
3. ขั้นการผ่านจุดที่ยางควบรูปเต็มที่ (Overcure) ในขั้นนี้ปฏิกิริยาการเชื่อมโยงเริ่มหมดไปจนถึงจุดเต็มที่ ซึ่งยางจะแข็งหรือมีค่ามอดุลัสสูงสุด



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างกราฟเชื่อมโยง [20]

2.9.2 การทดสอบความหนืดของยาง (Mooney viscosity) [21]

เครื่องมือวัดความหนืดของยางคอมปาวด์หรือยางที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการควบรูป นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเพื่อควบคุมสมบัติการไหลของยางคอมปาวด์ ค่าความหนืดที่วัดได้ เรียกว่า ความหนืดมูนนี่ โรเตอร์ที่ใช้จะมี 2 ขนาด คือ โรเตอร์ขนาดใหญ่ (Large rotor) และ โรเตอร์ขนาดเล็ก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Small rotor) ตามมาตรฐาน ASTM D1646 ความเร็วโรเตอร์ 2 ± 0.2 รอบต่อนาที อุณหภูมิในการทดสอบ คือ 25-200 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.9 เครื่องวัดความหนืดของยาง [21]

2.9.3 การทดสอบความแข็งกด (Hardness test) [21]

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความแข็งที่ผิวของวัสดุจำพวกยางและพลาสติกชนิด คือ ดูโรมิเตอร์ (Durometer) ตามมาตรฐาน ASTM D2240 มีขนาดเล็กและกะทัดรัด สะดวกต่อการใช้งาน โดยใช้วิธีการเจาะแทงหัวเข็มเข้าไปเนื้อชิ้นงานทดสอบ (Spring-loaded durometer) สเกล (Scale) สำหรับเครื่องวัดความแข็งแบบดูโรมิเตอร์ คือ 0-100 (ค่าความแข็งกด 0 คือ ความแข็งของของเหลว และค่าความแข็งกด 100 คือ ความแข็งของวัสดุแข็งมาก ไม่มีการยุบตัว เช่น กระจก) ดูโรมิเตอร์ชนิด A หรือชอร์ A (Type A or Shore A durometer) ใช้วัดพอลิเมอร์ที่มีความอ่อนนิ่ม เช่น ยาง ใช้วัสดุที่มีความแข็งไม่เกิน 90 แต่ถ้าหากวัสดุมีความแข็งเกิน 90 จะใช้ดูโรมิเตอร์ชนิด D หรือชอร์ D (Type D or Shore D)



รูปที่ 2.10 Durometer [21]

2.9.4 การทดสอบแรงดึง (Tensile tests) [21]

ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) โมดูลัสของยาง (Rubber modulus) และการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) ถือได้ว่าเป็นสมบัติเชิงกลที่สำคัญส่วนหนึ่งของวัสดุต่างๆ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทดสอบสำหรับยางเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine; UTM) มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบแรงดึงยางมีหลายมาตรฐาน เช่น ASTM D412, ISO-37, JIS-เอกสารเป็นเอกสารที่ส่งวนเวียนสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

K6251 เป็นต้น การทดสอบแรงดึง คือ การวัดความสามารถของวัสดุหนึ่งที่จะทนต่อแรงดึงยืดออกจากกัน ก่อนที่จะเกิดการฉีกขาด แตกหักหรือเสียหาย ค่ามอดูลัสของยาง คือ ค่าความเค้นดึงที่เปอร์เซ็นต์การดึงยืดหนึ่งๆ เช่น มอดูลัสที่ 100% (M100) หน่วยเป็นแรงต่อพื้นที่



รูปที่ 2.11 Universal Testing Machine (UTM) [21]

2.9.5 การทดสอบการต้านทานการขัดถู (Abrasion test)

เป็นการทดสอบความสามารถของพื้นผิววัสดุในการต้านทานการสึกหรอเนื่องจากการสัมผัสเสียดสีกัน วัดเป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณที่สูญเสียของยางมาตรฐานต่อปริมาณที่สูญเสียของยางตัวอย่างที่ทำการทดสอบ เครื่องมือที่ใช้ในการวัดปริมาณการสึกหรอของพื้นผิววัสดุโดยการสัมผัสเสียดสีกันภายใต้สภาวะที่กำหนด มีหลายแบบ เช่น DIN, Akron, Taber



รูปที่ 2.12 Din abrasion tester [22]

2.9.6 การทดสอบการต้านทานการหักงอ (Flexing resistance test)

บริเวณส่วนพื้นผิวของยางซึ่งถูกใช้งานในลักษณะของการพับงอหรือหักงอไปมาซ้ำๆกัน เป็นระยะเวลาหนึ่ง จะทำให้เกิดความล้าและแตกหักได้ จุดบกพร่องที่บริเวณผิวของยางซึ่งเป็นผลมาจากการกระจายตัวของสารเคมียางไม่สม่ำเสมอ มีสิ่งแปลกปลอมปนอยู่ หรืออาจเกิดจากสาเหตุอื่นๆ ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลทำให้ยางเกิดการแตกหักเมื่อใช้งาน เนื่องจากในขณะที่ยางถูกพับงอ ความเค้นที่เกิดขึ้นกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ และมีค่าสูงสุดบริเวณผิว ดังนั้นถ้าบริเวณนั้นมีจุดบกพร่องอยู่ด้วย ก็จะส่งผลทำให้จุดบกพร่องเกิดการขยายตัวใหญ่ขึ้นและขยายไปในเนื้อของยางจนกระทั่งยางเกิดการแตกหัก ส่งผลต่อสมบัติการใช้งานของยางในที่สุด ดังนั้นการทดสอบการต้านทานการหักงอจึงเป็นการค่า
 เอกสาร
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัดความต้านทานของยางต่อการเกิดและขยายตัวของรอยแตกภายใต้สภาวะทดสอบที่กำหนด วิธีการทดสอบความต้านทานต่อการหักงอที่นิยมใช้มี 2 วิธี

2.9.6.1 Ross Flex ใช้เครื่องมือ Ross flexing Tester เพื่อดูการขยายตัวของรอยแตกจากการหักงอในการทดสอบที่กระทำซ้ำๆ ในทิศทาง 90° มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ คือ ASTM D1052



รูปที่ 2.13 Ross flexing Tester [23]

2.9.6.2 Flex Cracking ใช้เครื่องมือ De Mattia Flex Cracking Tester เพื่อดูการขยายตัวของรอยแตกจากการหักงอในการทดสอบที่กระทำซ้ำๆ ในแนวระนาบ มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ คือ ASTM D813

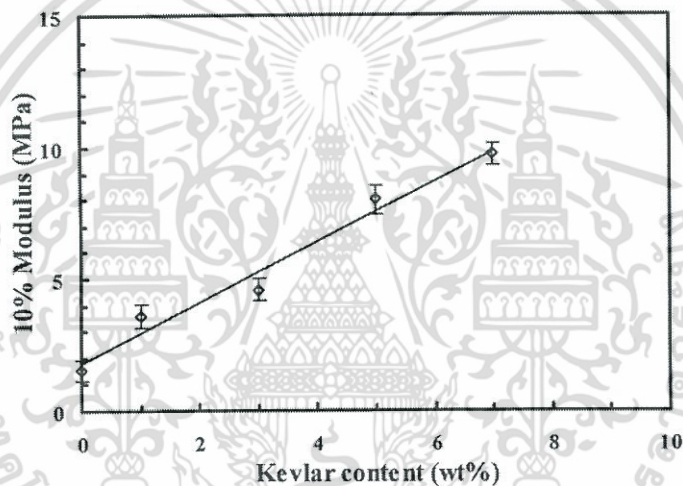


รูปที่ 2.14 De Mattia Flex Cracking Tester

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทวิชัย อมรศักดิ์ชัย และคณะ [22] ศึกษาการเสริมแรงด้วยเส้นใยเคฟลาร์ในยางเทอร์โมพลาสติกที่เป็นพอลิโอเลฟินส์ (Kevlar reinforcement of polyolefin-based thermoplastic elastomer) ในหลายๆงานวิจัยทำการศึกษาคอมโพสิตประเภทยาง โดยใช้เส้นใยสั้น เช่น ไนลอน พอลิเอสเทอร์ รวมไปถึงเคฟลาร์ เป็นเส้นใยเสริมแรง ซึ่งในแง่ของสมบัติสมเชิงกล งานวิจัยนี้จึงเลือกเส้นใยเคฟลาร์ (Kevlar 49) เพื่อใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงในยางเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic elastomer) แม้ว่าการรวมตัวกับเมทริกซ์ (Matrix) จะไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งในการทดลอง กำหนดให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซานโตพรีน (Santoprene) ซึ่งเป็นยางเทอร์โมพลาสติก ที่ประกอบด้วยโพลิโพรพิลีน (Polypropylene) 18 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอีน (Ethylene-Propylene Diene Rubber; EPDM) 82 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์ ส่วน Kevlar-49 ทำหน้าที่เป็นเส้นใยเสริมแรง จากนั้นทำการศึกษาสัณฐานวิทยา และสมบัติเชิงกล โดยทำการเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของคอมโพสิตที่มีปริมาณเคฟลาร์แตกต่างกัน จากผลการทดลองพบว่า เมื่อมีการเพิ่มปริมาณเคฟลาร์ลงในคอมโพสิต พบว่าค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสของยางที่ 10 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งตรงกันข้ามกับ การยืดตัว ณ จุดขาด ที่มีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็ว ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 2.15 นอกจากนี้งานวิจัยยังได้ทำการศึกษารอยแตกบริเวณผิวของชิ้นงานคอมโพสิต การเตรียมชิ้นงานทำได้โดย แซ่เยือกแข็งชิ้นงานลงในไนโตรเจนเหลว แล้วทำการหักชิ้นงานอย่างรวดเร็ว จากนั้นนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)



รูปที่ 2.15 ค่ามอดูลัสของยางที่ 10 เปอร์เซ็นต์

Rongxian Ou และคณะ [23] ศึกษาการใช้เส้นใยเคฟลาร์เป็นสารเสริมแรงในคอมโพสิตไม้แป้นและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene; HDPE) เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกล เนื่องจากเส้นเคฟลาร์เป็นเส้นใยสังเคราะห์ของพอลิพาราฟีนิลีนเทเรพธาลาไมด์ (Poly-p-Phenylene Terephthalamide, PPTA) พบว่าการเพิ่มปริมาณเส้นใยเคฟลาร์ส่งผลให้คอมโพสิตมีสมบัติเชิงกลที่ดี แต่การยึดเกาะกันระหว่างเส้นใยเคฟลาร์และเรซินเมทริกซ์ไม่มีประสิทธิภาพที่ดี ส่งผลให้ความแข็งแรงเชิงกลของคอมโพสิตไม่เพียงพอ จึงมีการปรับปรุงการยึดเกาะกันระหว่างเส้นใยเคฟลาร์และเรซินเมทริกซ์ โดยส่วนผสมของอัลลิลคลอไรด์และ 3 chloropropyl-trimethoxysilane ส่งผลให้ต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิต เนื่องจากมีการยึดเกาะกันระหว่างเส้นใยเคฟลาร์และเรซินเมทริกซ์ที่มีประสิทธิภาพ แล้วนำมาทดสอบการยึดติดโดยใช้เทคนิค SEM เทคนิคเอกซเรย์โฟโตอิเล็กตรอนสเปกโทรสโกปี (X-ray Photoelectron Spectroscopy; XPS) และเทคนิคฟลูออรีเยอร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Spectroscopy; FTIR) พบว่าการยึดเกาะกันระหว่างเส้นใยเคพลาร์และเรซินเมทริกซ์มีประสิทธิภาพดีขึ้น

อุกฤษฏ์ วิสิฐธนวรรธ และคณะ [24] ศึกษาผลของปริมาณเส้นใยจากใบสับปะรดและสารคู่ควบ (Coupling agent) ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตระหว่างยางไนไตรล์และเส้นใยจากใบสับปะรดชนิดเส้นใยสั้นที่เรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ โดยทำการใส่ปริมาณเส้นใยจากใบสับปะรด 0, 10, 20 และ 30 phr ซึ่งมีผลต่อสมบัติเชิงกลของยาง และการเติมสารคู่ควบที่มีผลต่อความสามารถในการยึดติดกันระหว่างยางกับเส้นใย พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย ทำให้เวลาเริ่มเชื่อมโยง (Scorch time) สั้นลงเล็กน้อย ส่วนค่าแรงบิดสูงสุด (Maximum Torque) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อมีการเติมสารคู่ควบ ทำให้เวลาเริ่มเชื่อมโยงสั้นลงมากขึ้นเมื่อเทียบกับคอมโพสิตที่ไม่ได้มีการเติมสารคู่ควบ จากการทดสอบแรงดึง (Tensile tests) พบว่าพฤติกรรมแรงดึงในสองทิศทางแตกต่างกันอย่างมาก ทำให้สังเกตได้ว่าเส้นใยจากใบสับปะรดในคอมโพสิตมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ และเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเส้นใย พบว่าค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อมีการเติมสารคู่ควบให้ค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้นมากกว่าเมื่อเทียบกับคอมโพสิตที่ไม่ได้มีการเติมสารคู่ควบ ส่วนค่ามอดูลัสที่เปอร์เซ็นต์การดึงยึด 10 เปอร์เซ็นต์ ความแข็งแรงฉีกขาด และค่าความแข็งแรงกมมีแนวโน้มเดียวกับค่าความแข็งแรงดึง และจากการทดสอบการแตกหักบริเวณผิวชิ้นงาน (Fracture surfaces) พบว่าชิ้นงานที่ถูกหักในสถานะที่ยึดจัดเมื่อนำไปส่องด้วย SEM คอมโพสิตที่มีการเติมสารคู่ควบจะมีผิวค่อนข้างเรียบ เมื่อเทียบกับคอมโพสิตที่ไม่ได้มีการเติมสารคู่ควบ ซึ่งพบว่าจะมีความขรุขระบริเวณผิวมากกว่า รวมไปถึงมองเห็นส่วนของเส้นใยที่ยื่นออกมาได้ชัดเจนกว่า ส่วนชิ้นงานที่ผ่านการดึงแล้วนำไปส่อง พบว่าส่วนของเส้นใยที่ยื่นออกมาจะยาวกว่า เมื่อเทียบกับชิ้นงานที่ถูกหักในสถานะที่ยึดจัด จากการศึกษาพบว่าเส้นใยจากใบสับปะรดที่เป็นเส้นใยสั้น มีสมรรถภาพสูงในการเสริมแรงของยางไนไตรล์ (NBR) ทำให้ NBR composite มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น

Maya Jacob และ คณะ [25] ศึกษาเกี่ยวกับการนำเส้นใยป่านครนารายณ์ (Sisal) และเส้นใยปาล์มน้ำมัน (Oil palm fibers) มาเสริมแรงในยางธรรมชาติ ด้วยความยาวของเส้นใยที่แตกต่างกัน พบว่าเมื่อความยาวเส้นใยเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความแข็งแรงดึงของคอมโพสิตลดลง ความยาวเส้นใยที่เสริมแรงได้ดีที่สุดสำหรับป่านครนารายณ์และเส้นใยปาล์มน้ำมัน คือ 10 และ 6 มิลลิเมตร ตามลำดับ ในส่วนของการยึดเกาะกันระหว่างยางธรรมชาติและเส้นใย ซึ่งมีการจัดเรียงตัวแตกต่างกัน คือ การเรียงตัวตามแนวเครื่องจักร (Machine direction) และตามแนวขวางเครื่องจักร (Transverse direction) จะสามารถวิเคราะห์ได้จากการบวมตัว โดยจะศึกษาผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าที่ปริมาณเส้นใย 30 phr จะมีการยึดเกาะกันระหว่างเส้นใย และยางธรรมชาติที่ดีที่สุด เมื่อเทียบกับที่ปริมาณเส้นใย 10 และ 50 phr เนื่องจากปริมาณเส้นใยที่ 10 phr เส้นใยมีปริมาณน้อยเกินไป ประสิทธิภาพในการยึดเกาะกันระหว่างเส้นใยและยางธรรมชาตินั้นไม่ดี ส่งผลให้การถ่ายเทแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปรผันตามประสิทธิภาพในการยึดเกาะ ส่วนปริมาณเส้นใยที่ 50 phr เส้นใยมีปริมาณมากเกินไป เกิดการเกาะกลุ่มกันเป็นก้อน (Fiber Agglomeration) สมบัติเชิงกลจึงลดลง

T.D.Sreeja และคณะ [26] ศึกษาพฤติกรรมการเชื่อมโยงและสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติและยางรีเคลม (Reclaimed rubber) โดยมีเส้นใยไนลอนเป็นเส้นใยเสริมแรง ซึ่งทำการปรับเปลี่ยนปริมาณเส้นใย 10 20 และ 30 phr พบว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเส้นใยเวลาเริ่มเชื่อมโยงและเวลาในการเชื่อมโยงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ สมบัติเชิงกล ความแข็งแรงดึงตามแนวเครื่องจักรมีค่าสูงกว่าแนวขวางเครื่องจักร ส่วนค่าความแข็งแรงฉีกขาด และการยึดตัว ณ จุดขาด ในแนวขวางเครื่องจักรมีค่าสูงกว่าแนวตามเครื่องจักร ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีการจัดเรียงตัวและทฤษฎีการถ่ายเทแรง

สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. การศึกษาการเสริมแรงด้วยเส้นใยเคฟลาร์ในยางเทอร์โมพลาสติกที่เป็นพอลิโอเลฟิน พบว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเคฟลาร์ลงในคอมโพสิต ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงและมอดูลัสของยางที่ 100% ดึงยึดเพิ่มขึ้น ส่วนค่าการยึดตัว ณ จุดขาด มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง
2. การศึกษาการใช้เส้นใยเสริมแรงในคอมโพสิตระหว่างไม้แปงและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง พร้อมทั้งปรับปรุงการยึดเกาะระหว่างเส้นใยเคฟลาร์และเรซินเมทริกซ์ โดยใช้อัลลิลคลอไรด์ และ 3-คลอโรโพรพิลไตรเมทที่ออกซิไซเลน แล้วนำชิ้นงานตัวอย่างมาทดสอบการยึดเกาะโดยใช้เทคนิค SEM, XPS และ FTIR พบว่าการยึดตัวกันระหว่างเส้นใยเคฟลาร์และเรซินประสิทธิภาพดีขึ้น
3. การศึกษาผลของปริมาณเส้นใย (0, 10, 20 และ 30 phr) และสารคู่ควบที่มีผลต่อความสามารถในการยึดติดกันของคอมโพสิตระหว่างยางไนไตรล์และเส้นใยจากใบสับปะรด พบว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเส้นใย ทำให้เวลาที่เริ่มเชื่อมโยงสั้นลง ค่าแรงบิดสูงสุดเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเติมสารคู่ควบ ทำให้เวลาที่เริ่มเชื่อมโยงสั้นลงกว่าเดิม และในส่วนของ การทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่า เมื่อมีการเพิ่มปริมาณเส้นใยและมีการเติมสารคู่ควบ ทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้นอย่างมาก ส่วนการทดสอบสัญญาณวิทยาด้วยเทคนิค SEM เมื่อมีการเติมสารคู่ควบ จะเห็นได้ว่าการยึดติดกันของคอมโพสิตระหว่างยางไนไตรล์และเส้นใยจากใบสับปะรดดีขึ้น ส่งผลให้สมบัติเชิงกลดีขึ้นด้วย
4. ศึกษาเกี่ยวกับการนำเส้นใยปานครนารายณ์ และเส้นใยปาล์มน้ำมัน มาเสริมแรงในยางธรรมชาติด้วยความยาวและปริมาณเส้นใยเส้นใยที่แตกต่างกัน พบว่าพบว่าการเพิ่มความยาวเส้นใยเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความแข็งแรงดึงของคอมโพสิตลดลง ความยาวเส้นใยที่เสริมแรงได้ดีที่สุดสำหรับปานครนารายณ์และเส้นใยปาล์มน้ำมัน คือ 10 และ 6 มิลลิเมตร ในส่วนของการศึกษาปริมาณเส้นใย พบว่าที่ปริมาณเส้นใย 30 phr จะมีการยึดเกาะกันระหว่างเส้นใย และยางธรรมชาติดีที่สุด เมื่อเทียบกับที่ปริมาณเส้นใย

10 และ 50 phr เนื่องจากหากเส้นใยมีปริมาณน้อยเกินไป ส่งผลให้การถ่ายเทแรงน้อยลงราคาไม่คุ้มค่าใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปรผันตามประสิทธิภาพในการยึดเกาะ ส่วนปริมาณเส้นใยที่ 50 phr เส้นใยมีปริมาณมากเกินไป เกิดการเกาะกลุ่มกันเป็นก้อน สมบัติเชิงกลจึงลดลง

5. ศึกษาพฤติกรรมการเชื่อมโยงและสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติและยางรีเคลมโดยมีเส้นใยไนลอนเป็นเส้นใยเสริมแรง พบว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเส้นใย เวลาเริ่มเชื่อมโยงและเวลาในการเชื่อมโยงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ สมบัติเชิงกล ในแนวขวางเครื่องจักรมีค่าสูงกว่าแนวตามเครื่องจักร ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีการจัดเรียงตัวและทฤษฎีการถ่ายเทแรง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ขั้นตอนการศึกษา

เตรียมยางคอมปาวด์ผสมกับมาสเตอร์แบทช์เส้นใย 2 ชนิด คือ เส้นใยอะรามิด (Kevlar) และ เส้นใยจากใบสับปะรด (Pineapple Leaf Fiber ; PALF) โดยมาสเตอร์แบทช์เส้นใยจากใบสับปะรด นั้น เตรียมได้จากการใช้ยางธรรมชาติเป็นตัวกลางในการผสม ทำการผสมสูตรยาง (Rubber Compounding) โดยศึกษาผลของมาสเตอร์แบทช์เส้นใยทั้ง 2 ชนิด ศึกษาปริมาณเส้นใยที่ใส่ในยางผสมสูตรด้วยปริมาณ 0 2 4 6 8 และ 10 phr ศึกษาปัจจัยของการใช้สารกระจายตัว 2 ชนิด คือ STRUKTOL® WB 222 และ ULTRALUBE® 250 ในปริมาณ 0-100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใย รวมไปถึงศึกษาฟิสิกส์เคมีด้วยปริมาณ 0 1.5 และ 10 phr สมบัติที่ทำการศึกษาได้แก่ ลักษณะการเชื่อมโยง สมบัติเชิงกล และสัณฐานวิทยา

3.2 สารเคมี

1. ยางธรรมชาติ (NR) : ยางแท่งเอสทีอาร์ (STR เบอร์ 3) บริษัท ไทยฮั้วริบเบอร์ จำกัด
2. สารตัวเติมเสริมแรง (Reinforcing filler) : Aramid fiber เกรด Elastoflex® AR40 บริษัท เคมีคอลอินโนเวชัน จำกัด
3. สารตัวเติมเสริมแรง (Reinforcing filler) : Pineapple Leaf Fiber
4. พอลิเอทิลีนไกลคอล 4000 (Polyethylene glycol; PEG 4000) เกรดการค้า บริษัท คอลดิก จำกัด
5. สารหล่อลื่น (Lubricants) : น้ำมันพาราฟิน (Paraffinic oil) เกรดการค้า บริษัท คุณดง-ออยล์แอนด์เคมีคัล จำกัด
6. สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Protective agent) : วิงส์เตย์แอล (Wingstay® L) เกรดการค้า บริษัท ออมโนว่า โซลูชันส์ จำกัด
7. สารกระตุ้นปฏิกิริยาการเชื่อมโยง (Activator) : กรดสเตียริก (Stearic acid) เกรดการค้า บริษัท พีที ซีสาเดน รายา เคมีคัล จำกัด
8. สารกระตุ้นปฏิกิริยาการเชื่อมโยง (Activator) : ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เกรดการค้า บริษัท จักรवालเคมี จำกัด
9. สารเชื่อมโยง (Vulcanizing agent) : กำมะถัน (Sulfur) เกรดการค้า บริษัท สหไพศาล อินดัสทรี จำกัด
10. สารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยง (Accelerator) : MBTS (Mercaptobenzothiazole disulfide) เกรดการค้า บริษัท มอนเพล็กซ์ จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ในเชิงพาณิชย์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. สารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยง (Accelerator) : TMTD (Tetramethylthiuram disulfide) เกรด การค้า บริษัท อาร์คิมา จำกัด
12. ไซลีน (Xylene) : เกรดการค้า บริษัท แล็บ ซิสเต็ม จำกัด
13. สารการกระจายตัว (Dispersing agent) : Ultralube® 250 บริษัท เบ็นไมเยอร์ จำกัด
14. สารการกระจายตัว (Dispersing agent) : Struktol® WB 222 Struktol Company
15. ฟีนอลิกเรซิน : Bakelite® PF 0222 SP 06 บริษัท เฮซิออน (ประเทศไทย) จำกัด

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) รุ่น YFT R 8 AB บริษัท ยง ฟง แมชชีน-เนอริ จำกัด
2. เครื่องผสมแบบปิด (Kneader) รุ่น YFY-K-3L บริษัท ยง ฟง แมชชีนเนอริ จำกัด
3. เครื่องวัดการเชื่อมโยงของยาง (Oscillating Disc Rheometer; MDR) รุ่น ODR2000 บริษัท มอนซานโต ไทยแลนด์ จำกัด
4. เครื่องวัดความหนืดมูนนี่ (Mooney viscosimeter) รุ่น MV 2000 บริษัท บริษัท มอนซานโต ไทยแลนด์ จำกัด
5. เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine) รุ่น HCC-140DP บริษัท หลิน-เฉิง เทคโนโลยี จำกัด
6. เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine; UTM) รุ่น LR5K บริษัท นรินทรอินสทรูเมนต์ จำกัด
7. เครื่องทดสอบความแข็งกด (Durometer Hardness Tester) ชนิด Shore A รุ่น TECLOCK GS-710 บริษัท เอทีเอส ฟาร์เอส พี เอ จำกัด
8. เครื่องวัดความต้านทานต่อการสึกกร่อน (DIN abrasion tester) รุ่น GT-7012-D DIN-53516 บริษัท โทเทค แมชชีนเนอริ จำกัด
9. กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope; OM) รุ่น MHD-2M บริษัท มิคคูโย จำกัด
10. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) รุ่น S-3400N บริษัท ฮิฮาชิ ไฮเทคโนโลยี ยุโรป จีเอ็มบีเอช จำกัด
11. เครื่องให้ความร้อน (Hot plate) บริษัท ฟิชเชอร์ไซแอนทิฟิก จำกัด
12. ตู้อบลมร้อน (Drying oven) บริษัท โปรโทนิคส์ อินเตอร์เทรด จำกัด
13. เครื่องชั่งแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง (Analytical balance) บริษัท เมดเลอร์ จำกัด
14. ไมโครมิเตอร์ (Micrometer)
15. เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (Vernier calipers)
16. บริษัทเครื่องแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทฯ ที่จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

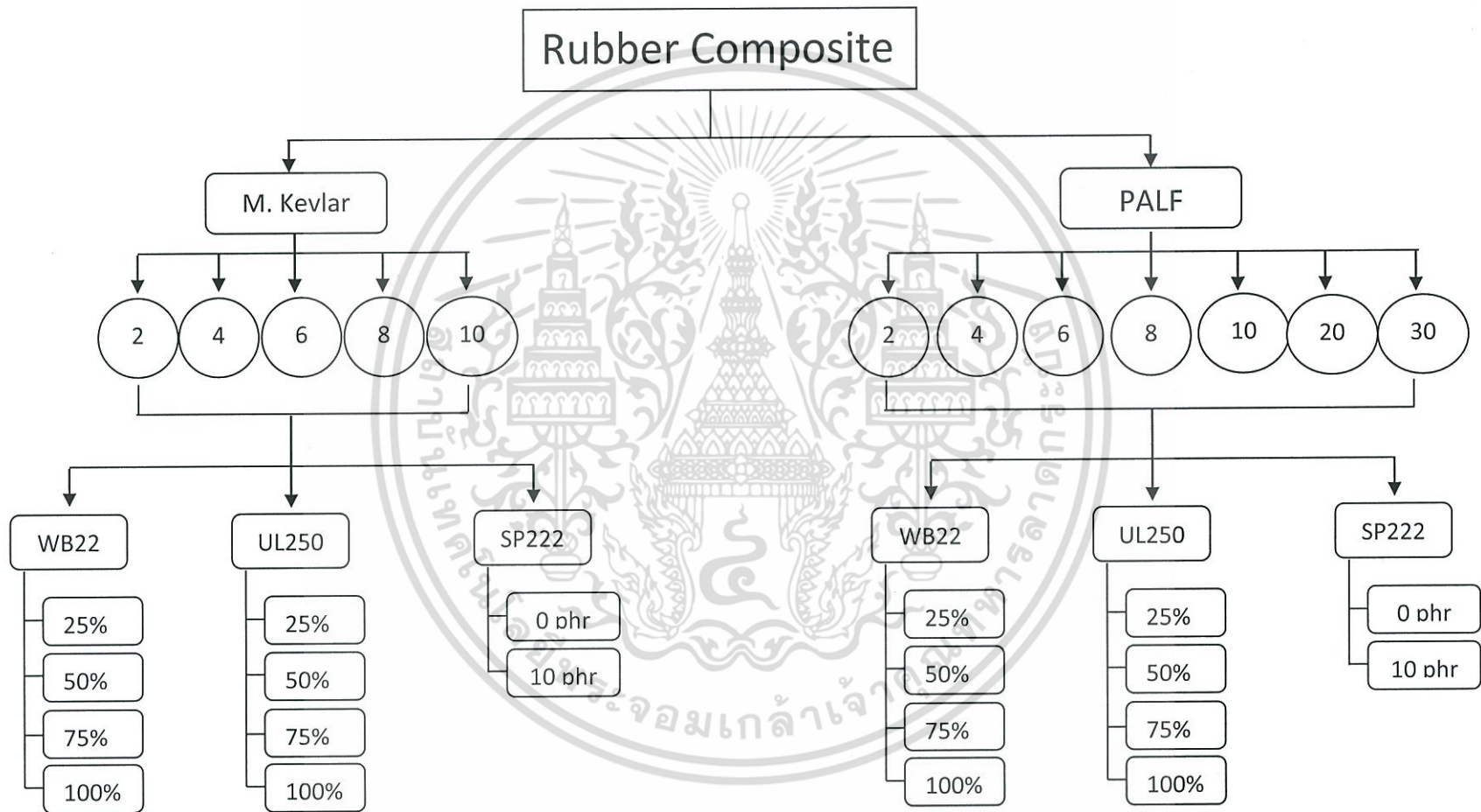
3.4 วิธีการดำเนินงาน

- ตอนที่ 1** ขั้นตอนการเตรียมยางผสมสูตร (ยางคอมปาวด์ผสมมาสเตอร์แบทช์เส้นใย)
- ขั้นตอนการอบเส้นใย

การอบเส้นใยเพื่อกำจัดความชื้น ทำได้โดยเตรียมเส้นใย 7 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 1 กรัม เพื่อเป็นตัวแทนในการทดสอบหาระยะเวลาในการกำจัดความชื้นออกจากเส้นใยก่อนการนำไปใช้งาน จากนั้นนำไปอบในตู้อบลมร้อน โดยใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แล้วทำการชั่งน้ำหนักเส้นใยระหว่างอบทุก 1 ชั่วโมง จนมีน้ำหนักที่คงที่ จึงสามารถนำไปใช้งานได้

หมายเหตุ เส้นใยเคฟลาร์ เป็นมาสเตอร์แบทช์สำเร็จรูป (40% w/w) เตรียมโดยบริษัทผู้ผลิต





รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงภาพรวมการทดลองทั้งหมดในงานวิจัยนี้

ขั้นตอนการเตรียมสารเคมีและการขึ้นรูปยางผสมสูตร

1. ชั่งยางธรรมชาติโดยการตัดเป็นชิ้น รวมถึงชั่งสารเคมีต่างๆ ตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 3.1 สามารถเพิ่มน้ำหนักยางผสมสูตร โดยคำนวณตามอัตราส่วนที่กำหนด

ตารางที่ 3.1 สูตรผสมยางในการทดลองเพื่อศึกษาผลของเส้นใยเสริมแรงในยาง

ลำดับ	สาร	ปริมาณ (ส่วนโดยน้ำหนัก; phr)
1	ยางธรรมชาติ (NR)	100
2	Polyethelene glycol	0.5
3	Lubicant	15
4	Antioxidants	1.5
5	Activator – Stearic acid	1.5
6	Activator – ZnO	4
7	Curing agent	1.5
8	Accelerator	1.5
9	Coupling agent	0.5
10	Peptizer	4
11	Petroleum resin	1.5
12	Filler	50

หมายเหตุ * phr คือ ส่วนโดย 100 ส่วนของยางธรรมชาติ (ส่วนโดยน้ำหนัก)

2. ใส่ยางธรรมชาติและยางบิวตาไดอีนลงในเครื่องผสมแบบปิด ที่มีความดัน 8 บาร์ (Bar) เป็นเวลา 2 นาที เพื่อบดยาง (Masticate) อุณหภูมิที่ใช้ คือ 70 องศาเซลเซียส
3. ใส่สารตัวเติมและสารเติมแต่งต่างๆ ยกเว้นสารเร่งและกรดสเตียริก ให้สารต่างๆ กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในยาง โดยในขั้นตอนนี้ใช้เวลาประมาณ 12 นาที อุณหภูมิที่ใช้ คือ 60-110 องศาเซลเซียส
4. เมื่อยางผสมเข้ากันดีแล้ว จึงใส่กรดสเตียริกลงไป ในขั้นตอนนี้ใช้เวลา 3 นาที อุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 100-115 องศาเซลเซียส ได้เป็นยาง Compound A
5. นำมาสเตอร์แบทช์ที่เตรียมไว้ ลงในเครื่องผสมชนิดสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) ให้มาสเตอร์แบทช์พันรอบลูกกลิ้ง โดยปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งให้เป็น 0 มิลลิเมตร
6. จากนั้นนำยาง Compound A ใส่ลงไปเพื่อให้แรงเฉือนระหว่างการบดย่อย (Mastication) ทำการกรีดพับยางจนกระทั่งยางนิ่ม (Cut and fold) โดยให้ยางพันรอบลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ใส่สารเชื่อมโยงและสารเร่งลงไป ทำการผสมจนสารที่เติมลงไปกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ในยาง ขั้นตอนนี้ใช้เวลาประมาณ 20 นาที อุณหภูมิที่ใช้ในการผสม คือ 50-60 องศาเซลเซียส ได้เป็นยาง Compound B
8. ทำการปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งให้มีขนาดประมาณ 2 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับการอัดขึ้นรูป จากนั้นกรีดแผ่นยางออกจากลูกกลิ้ง ระวังอย่าให้แผ่นยางพับติดกัน
9. นำยางผสมสูตรที่ได้ไปทดสอบลักษณะการเชื่อมโยงด้วย ODR Curelastomer เพื่อหาเวลาเริ่มเชื่อมโยง (t_{s2}) และเวลาเชื่อมโยงยาง (t_{c90}) ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส
10. เมื่อทราบเวลาเริ่มเชื่อมโยงและเวลาเชื่อมโยงยางแล้ว จึงนำยาง Compound B ตัดเป็นแผ่นให้มีน้ำหนัก 60 กรัม ใส่แม่พิมพ์ขนาด 150×150 ตารางมิลลิเมตรหนา 2 มิลลิเมตร ไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส โดยกำหนดเวลาเท่ากับ $(t_{c90} \times t_{c110}) / t_{c90}$ จากนั้นนำยางที่ผ่านการขึ้นรูปเรียบร้อยแล้วมาทดสอบสมบัติต่างๆ ต่อไป

- **ศึกษาผลของชนิดและปริมาณเส้นใยที่มีต่อสมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยา**

ทำตามขั้นตอนการขึ้นรูปยางผสมสูตรในตารางที่ 3.1 โดยปรับเปลี่ยนชนิดของเส้นใยเสริมแรง ตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สูตรผสมยางในการทดลองเพื่อศึกษาผลของชนิดและปริมาณเส้นใยเสริมแรง

ชนิดเส้นใยเสริมแรง	ปริมาณยางธรรมชาติ (phr)	ปริมาณเส้นใยเสริมแรง (phr)
Aramid Fiber	100	0 2 4 6 8 และ 10
Pineapple Leaf Fiber	100	0 2 4 6 8 10 20 และ 30

- **ศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารช่วยกระจายตัวที่มีต่อการกระจายตัวของเส้นใย**

ทำตามขั้นตอนการขึ้นรูปยางผสมสูตรในตารางที่ 3.1 โดยปรับเปลี่ยนชนิดของสารช่วยกระจายตัว ตามตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สูตรผสมยางในการทดลองเพื่อศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารช่วยกระจายตัว

ชนิดของสารช่วยกระจายตัว	ปริมาณเส้นใยเสริมแรง (phr)	ปริมาณสารช่วยกระจายตัว (%โดยน้ำหนักเส้นใย)
Struktol® WB 222	100	0 25 50 75 และ 100
Ultralube® 250	100	0 25 50 75 และ 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ศึกษาผลของปริมาณฟีนอลิกเรซิน ที่มีต่อสมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยา

ทำตามขั้นตอนการขึ้นรูปยางผสมสูตรในตารางที่ 3.1 โดยปรับเปลี่ยนปริมาณของเรซิน ตามตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สูตรผสมยางในการทดลองเพื่อศึกษาผลของปริมาณเรซิน

ชนิดของฟีนอลิกเรซิน	ปริมาณเส้นใยเสริมแรง (phr)	ปริมาณเรซิน (phr)
SP222	100	0 และ 10

ตอนที่ 2 การทดสอบลักษณะการเชื่อมโยง สมบัติเชิงกล และสัณฐานวิทยา

1. ลักษณะการเชื่อมโยง (Cure Characteristic)

ตัดแผ่นยางเป็นชิ้นงานขนาด 50×50×15 ลูกบาศก์มิลลิเมตร แล้วนำเข้า ODR Curelaster จากนั้นนำกราฟที่เครื่องวัดได้มาคำนวณเวลาเริ่มเชื่อมโยง (t_{s2}) เวลาการเชื่อมโยง (t_{c90}) และดัชนีอัตราการเชื่อมโยง (CRI)

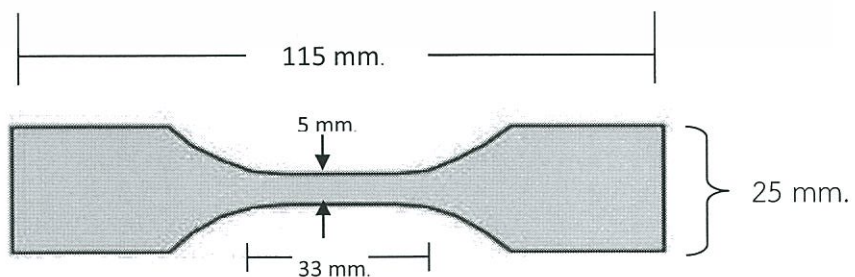
$$\text{ดัชนีอัตราการเชื่อมโยง (CRI)} = 100/(t_{c90}-t_{s2}) \quad (3.1)$$

2. การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

2.1 การทดสอบแรงดึง (Tensile Tests)

เป็นการทดสอบด้วย Universal testing machine ตามมาตรฐาน ASTM D412 แบบ Die C โดยการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างให้ความหนา 2±0.15 มิลลิเมตร ซึ่งกำหนดสภาวะการทดสอบ ดังนี้

ความเร็วในการดึง (Test speed)	500	มิลลิเมตรต่อนาที
ความยาวเกจ (Gauge length)	20	มิลลิเมตร
ค่าแรงสูงสุดที่เครื่องรับได้ (Load cell)	5	กิโลนิวตัน
จำนวนชิ้นงานตัวอย่างที่ทดสอบ	3	ชิ้นงาน



รูปที่ 3.2 ชิ้นงานตัวอย่างการทดสอบแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D412

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ได้จากการทดสอบแรงดึง

1. ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) มีค่าเท่ากับค่าความเค้นสูงสุด (Maximum stress) ของวัสดุที่รับได้เมื่อทำการให้แรงดึง (หน่วยเป็นแรงต่อพื้นที่) โดยหาได้จากสมการ

$$\text{ความแข็งแรงดึง} = F/A \quad (3.2)$$

เมื่อ F = แรงที่ใช้ในการดึง ณ จุดสูงสุด

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน (ตารางมิลลิเมตร)

2. มอดุลัสของยาง (Rubber modulus) เป็นค่าความเค้นดึง (Tensile stress) ที่เปอร์เซ็นต์การดึงยืด (%strain) 10 และ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยรายงานเป็นค่า M10 และ M100
3. เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด (% Elongation at break) หาได้จากสมการ

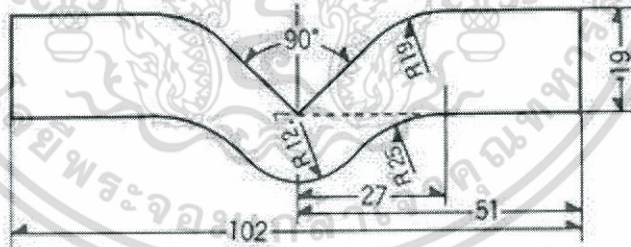
$$\text{เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด} = (l-l_0)/l_0 \times 100 \quad (3.3)$$

เมื่อ l = ความยาวสุดท้าย (มิลลิเมตร)

l_0 = ความยาวเริ่มต้น (มิลลิเมตร)

2.2 การทดสอบความแข็งแรงฉีกขาด (Tear testing)

เป็นการทดสอบด้วย Universal testing machine ตามมาตรฐาน ASTM D624 แบบ Die C โดยการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างที่มีความหนา 2 ± 0.15 มิลลิเมตร สภาวะในการทดสอบเป็นสภาวะเดียวกับการทดสอบแรงดึง



รูปที่ 3.3 ชิ้นงานตัวอย่างการทดสอบความแข็งแรงฉีกขาด ตามมาตรฐาน ASTM D624

- ค่าที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงฉีกขาด

ความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) หาได้จากสมการ

$$\text{ความแข็งแรงฉีกขาด} = F/T \quad (3.4)$$

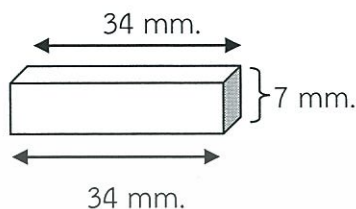
เมื่อ F = แรงที่ใช้ในการดึง ณ จุดสูงสุด (นิวตัน)

T = ความหนาของชิ้นงาน (มิลลิเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การทดสอบความแข็งกด (Hardness test)

เป็นการทดสอบด้วยเครื่อง Durometer hardness ชนิด shore A ตามมาตรฐาน ASTM D2240 โดยตัวอย่างชิ้นงานทดสอบต้องมีความหนาน้อยกว่า $\frac{1}{4}$ นิ้ว และทำการทดสอบหาค่าความแข็งกดตัวอย่างละ 10 จุด อ่านค่าหลังจากให้แรงกด 5 วินาที



รูปที่ 3.4 ชิ้นงานตัวอย่างการทดสอบความแข็งกด ตามมาตรฐาน ASTM D2240

2.4 การทดสอบการต้านทานต่อการขัดถู (Abrasion test)

เป็นการทดสอบด้วยเครื่องวัดปริมาณการสึกหรอของพื้นผิว ตามมาตรฐาน DIN 53516:1987-06 ด้วยเครื่องวัดปริมาณการสึกหรอของพื้นผิววัสดุ โดยชิ้นงานมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกหนา 6.0 ± 0.2 มิลลิเมตร ทำการกดชิ้นงานให้สัมผัสกับพื้นผิวขัดที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ แล้วหาน้ำหนักที่สูญเสียไปของชิ้นทดสอบโดยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่งและคำนวณเป็นปริมาตรที่สูญเสีย ที่สภาวะการทดสอบดังนี้

Load cell	10	นิวตัน
กระดาษทราย เบอร์	240	
ระยะที่ใช้ในการทดสอบ	40	เมตร



รูปที่ 3.5 ชิ้นงานตัวอย่างการทดสอบการต้านทานต่อการขัดถู ตามมาตรฐาน DIN 53516:1987-06

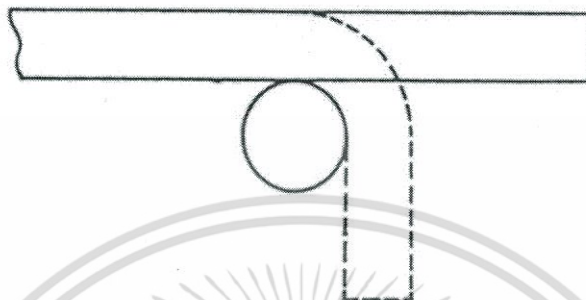
2.5 การทดสอบการต้านทานการหักงอ (Flexing resistance test)

2.5.1 Ross Flex ใช้เครื่องมือ Ross flexing Tester เพื่อดูการขยายตัวของรอยแตกจากการหักงอในการทดสอบที่กระทำซ้ำๆ ในทิศทาง 90° มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ คือ ASTM D1052 ใช้ชิ้นงานทดสอบขนาด $25 \times 150 \times 6$ ลูกบาศก์มิลลิเมตร โดยก่อนเริ่มการทดสอบ ที่ผิวของชิ้นงานจะถูกทำให้มีรอยตำหนิซึ่งมีความยาว 2.5 มิลลิเมตร และตั้งฉากกับแนวตามยาวของชิ้นงาน ในขณะที่ทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบ ชิ้นงานซึ่งถูกจับยึดกับอุปกรณ์ทดสอบในแนวระนาบ จะถูกพับงอให้เป็นมุมตั้งฉากกับแนวระนาบ ซึ่งใช้สภาวะการทดสอบ ดังนี้

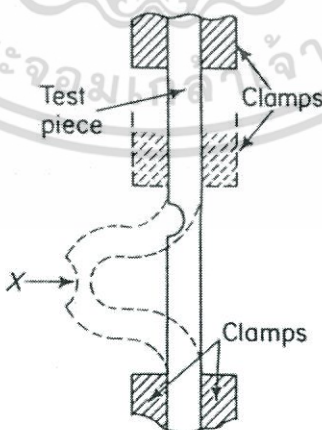
Bending speed	100	รอบ/นาที
Roller Stroke	50	มิลลิเมตร



รูปที่ 3.6 ลักษณะการพับงอของชิ้นทดสอบยาง เมื่อทดสอบด้วยเครื่อง Ross flexing machine

2.5.2 Flex Cracking ใช้เครื่องมือ De mattia flex cracking tester เพื่อดูการขยายตัวของรอยแตกจากการหักงอในการทดสอบที่กระทำซ้ำๆ ในแนวระนาบ มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ คือ ASTM D813 ทำการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบให้มีขนาด $25 \times 150 \times 6.35$ ลูกบาศก์มิลลิเมตร ชิ้นงานจะถูกยึดจับกับอุปกรณ์ทดสอบในแนวตั้ง ซึ่งจะถูกยืดออกอย่างเต็มที่ แล้วพับงอกลับไปมาด้วยความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที สภาวะการทดสอบ ดังนี้

Bending speed	300	รอบ/นาที
Chuck distance	75	มิลลิเมตร



รูปที่ 3.7 แบบจำลองการยึดจับชิ้นงานสำหรับการทดสอบ โดยใช้เครื่อง De mattia flex cracking tester

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การทดสอบทางสัณฐานวิทยา (Morphology)

สังเกตการกระจายตัวและขนาดเส้นใยโดยใช้ OM และ SEM โดยมีขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน ดังนี้

3.1 การเตรียมชิ้นงานเพื่อดูความยาวเฉลี่ยของเส้นใย โดยใช้ OM

3.1.1 นำมาสเตอร์แบทช์เส้นใยที่เตรียมได้ มาละลายด้วยสารละลายโซลีน จนเส้นใย แยกตัวออกจากกัน จากนั้นกรองสารละลายออกด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ

3.1.2 นำเส้นใยที่แยกได้ไปอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยอุณหภูมิที่ใช้ คือ 100 องศาเซลเซียส

3.1.3 จากนั้นนำเส้นใยที่ผ่านการอบแล้ว มาส่องด้วย OM เพื่อดูความยาวเฉลี่ยของเส้นใย

3.2 การเตรียมชิ้นงานเพื่อสังเกตการกระจายตัวของเส้นใย โดยใช้ SEM โดยการเตรียมตัวอย่างขนาด $1 \times 5 \times 0.2$ ลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยการแช่ตัวอย่างในไนโตรเจนเหลวเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วหักตัวอย่างที่สภาวะแข็งตัวอย่างรวดเร็ว ทำการเคลือบทองบริเวณส่วนพื้นที่ภาคตัดขวาง แล้วนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยายต่างๆ



บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการใช้เส้นใยเคฟลาร์ และเส้นใยจากใบสับปะรด เป็นเส้นใยเสริมแรง (Reinforced fibers) ในยางถอนขนไก่ โดยนำเส้นใยมาทำการอบเพื่อไล่ความชื้น จากนั้นนำไปผสมกับสูตรยางถอนขนไก่ด้วยเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง แล้วทำการอัดขึ้นรูป โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 หัวข้อ ดังนี้

1. ศึกษาผลของปริมาณเส้นใยเคฟลาร์ (0-10 phr) และปริมาณเส้นใยจากใบสับปะรด (0-30 phr)
2. ศึกษาผลของการใช้สารช่วยกระจายตัว (STRUKTOL® WB 222 และ Ultralube® 250) ที่ปริมาณ 0-100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใย
3. ศึกษาผลของปริมาณฟีนอลิกเรซิน ที่ 0 1.5 และ 10 phr

ซึ่งได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการเชื่อมโยงของยาง สมบัติเชิงกล และสัณฐานวิทยา โดยตัวอย่างสัญลักษณ์ของสูตรยางต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัยแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างสัญลักษณ์ของสูตรยางที่ใช้ในงานวิจัย

สัญลักษณ์	คำอธิบายสัญลักษณ์
K00 , P00	สูตรยางถอนขนไก่ที่ไม่มีการเส้นใย (ปริมาณเส้นใย 0 phr)
K02 – K10	สูตรยางถอนขนไก่ที่มีการใส่เส้นใยเคฟลาร์ที่ปริมาณ 2-10 phr
K08WB25	สูตรยางถอนขนไก่ที่มีการใส่เส้นใยเคฟลาร์ 8 phr และใส่สารช่วยกระจายตัว (STRUKTOL® WB 222 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเส้นใย)
K08UL25	สูตรยางถอนขนไก่ที่มีการใส่เส้นใยเคฟลาร์ 8 phr และใส่สารช่วยกระจายตัว (ULTRALUBE® 250 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเส้นใย)
K02SP10	สูตรยางถอนขนไก่ที่มีการใส่เส้นใยเคฟลาร์ 2 phr และใส่ Phenolic resin 10 phr
P02 – P30	สูตรยางถอนขนไก่ที่มีการใส่เส้นใยจากใบสับปะรดที่ปริมาณ 2-30 phr

หมายเหตุ ในสูตรยางถอนขนไก่ที่มีการใส่เส้นใยจากใบสับปะรด จะทำการเปลี่ยนสัญลักษณ์ในสูตรจาก K เป็น P

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเสริมแรงยางถอนขนไก่ด้วยเส้นใยเคพลาร์

4.1 ผลของปริมาณเส้นใยเคพลาร์ที่มีผลต่อสมบัติของยางถอนขนไก่

เส้นใยอะรามิด หรือเส้นใยเคพลาร์ เป็นเส้นใยสังเคราะห์ที่มีสมรรถนะสูง มีความเหนียว และมีความแข็งแรงสูง เนื่องจากเส้นใยชนิดนี้มีหมู่ Para-aramid อยู่ในโครงสร้าง งานวิจัยนี้จึงได้เลือกเส้นใยเคพลาร์ เส้นใยสั้นเป็นส่วนเสริมแรง เพื่อพัฒนาสมบัติของยางถอนขนไก่ให้แข็งแรงและทนทานต่อการใช้งาน โดยหนึ่งปัจจัยสำคัญที่จะส่งผลต่อสมบัติดังกล่าว คือ ปริมาณเส้นใยเคพลาร์ที่เหมาะสมสำหรับการเสริมแรงในยางถอนขนไก่สูตรนี้ ดังนั้นการทดลองในตอนต้นที่ 4.1 จึงทำการเปรียบเทียบปริมาณเส้นใยที่ 0 2 4 6 8 และ 10 phr จากการทดลองเบื้องต้นได้ทำการทดลองโดยใช้เส้นใยเคพลาร์ที่ปริมาณมากกว่า 10 phr พบว่าทำการผสมได้ยาก มีความหนืดสูงขึ้น เส้นใยเกิดการกระจายตัวได้ไม่ดี ทั้งนี้เนื่องจากมีค่าอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (Aspect ratio) น้อย ส่งผลให้พื้นที่ผิวมาก ดังนั้น จึงทำการทดลองใส่เส้นใยเคพลาร์ปริมาณสูงสุดที่ 10 phr โดยศึกษาพฤติกรรมกรรมการเชื่อมโยง สมบัติเชิงกล และสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของยางถอนขนไก่ผสมสูตร

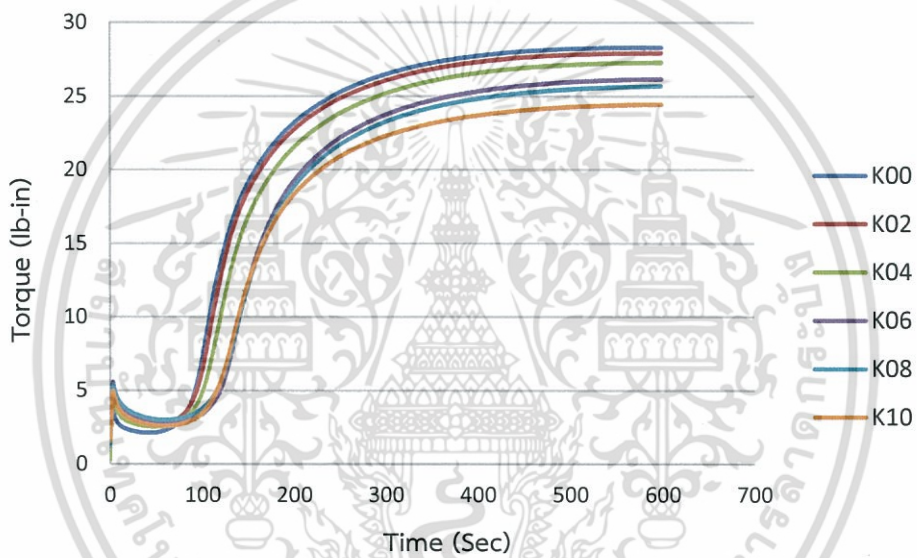
4.1.1 การศึกษาพฤติกรรมกรรมการเชื่อมโยงของยาง

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.1 พบว่ายางมีพฤติกรรมกรรมการเชื่อมโยงเปลี่ยนแปลงไป คือ เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยเคพลาร์จาก 0 ถึง 8 phr เห็นได้ว่าค่าความหนืดมูนนี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมาก ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าแรงบิดต่ำสุด (Minimum torque) เนื่องจากในการเพิ่มปริมาณเส้นใยเป็นการเสริมแรงให้กับยาง มีความหนืดสูง เกิดการไหลได้ยาก ค่าความหนืดมูนนี้จึงเพิ่มขึ้น ส่วน Scorch time และ Cure time มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน เนื่องจากเส้นใยถูกเตรียมมาในรูปของมาสเตอร์แบทช์ ซึ่งมีน้ำมันและสารเคมีอื่นๆ เป็นส่วนประกอบ เส้นใยจะถูกเคลือบด้วยน้ำมัน ส่งผลให้เกิดการดูดสารเชื่อมโยง ส่วนความแข็งแรงของยางเพิ่มขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากค่ามอดุลัสของยางที่ 10 เปอร์เซนต์ แสดงได้ดังรูปที่ 4.5 นอกจากนี้เส้นใยเคพลาร์เป็นเส้นใยที่มีขั้ว ซึ่งคล้ายกับซิลิกาที่มีการดูดสารเชื่อมโยงยาง รวมไปถึงเป็นเส้นใยที่สามารถดูดความชื้นได้ ดังนั้นในการให้ความร้อนเพื่อเชื่อมโยงยาง ความร้อนส่วนหนึ่งจะถูกใช้ไปกับการระเหยน้ำออก จึงส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการเชื่อมโยงนั้นเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามที่ 10 phr เส้นใยมีปริมาณมากเกินไป อาจเกิดการผสมแล้วเส้นใยไม่เกิดการกระจายตัว เกิดการรวมตัวเป็นกลุ่มของเส้นใย (Fiber bundle) ที่มีช่องว่างหรืออากาศอยู่ภายใน ส่งผลให้เส้นใยเกิดการไหล (Slip) ความหนืดมูนนี้จึงลดลง ส่วน Scorch time และ Cure time ลดลง

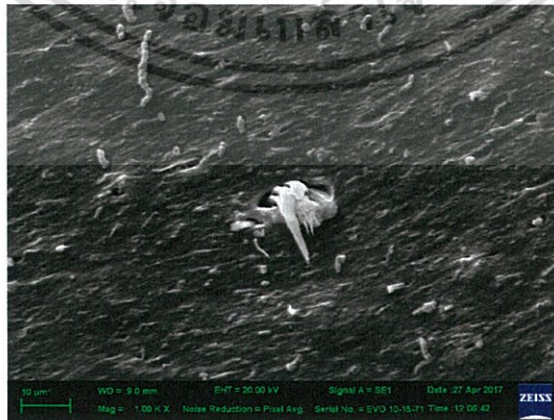
เช่นกัน เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความหนืดมูนีและพฤติกรรมการเชื่อมโยง : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใย

Samples	Mooney (ML (1+4 100 °C))	M _L (lbf.in)	M _H (lbf.in)	t _{s2} (min)	t _{c90} (min)	CRI (min ⁻¹)
K00	25.1	2.4	32.6	1.3	4.3	33.6
K02	26.0	3.0	32.2	1.3	4.3	33.7
K04	26.7	2.9	31.5	1.4	4.4	32.7
K06	26.7	3.2	30.2	1.6	5.0	29.0
K08	28.4	3.4	29.6	1.6	5.1	28.5
K10	24.1	3.0	28.2	1.5	4.6	32.7



รูปที่ 4.1 กราฟการเชื่อมโยงของยางถนอนขนไก่ : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยเคพลาร์

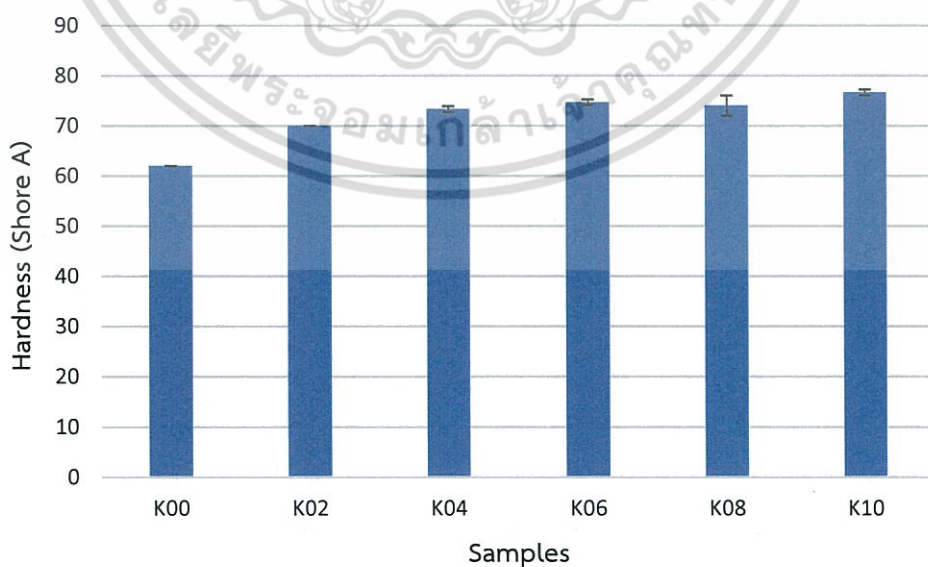


รูปที่ 4.2 สัณฐานวิทยาของยางถนอนขนไก่เสริมแรงด้วยเส้นใยเคพลาร์ที่มีการเกิดจุดบกพร่อง (กำลังขยาย 1000 เท่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

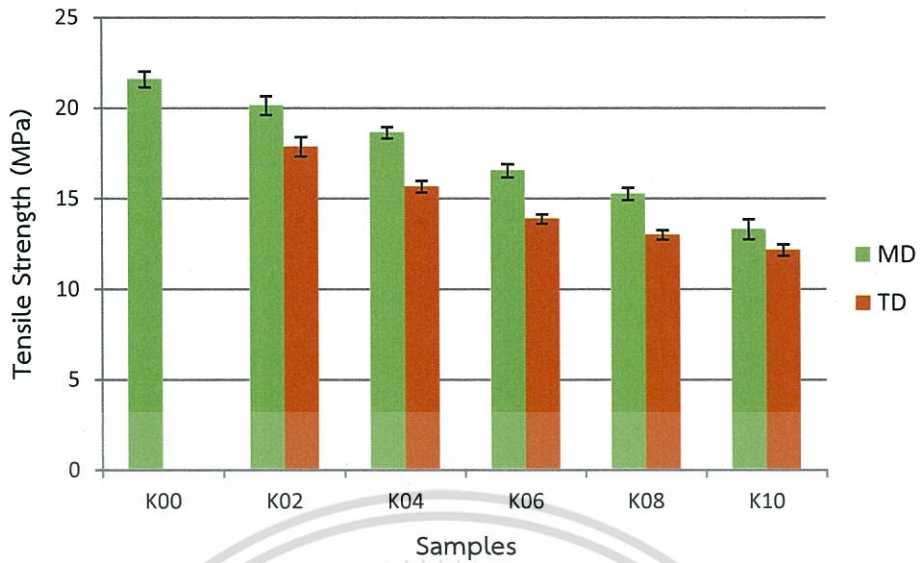
4.1.2 การศึกษาสมบัติเชิงกล

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของยางถอนขนไก่ที่มีการใช้ปริมาณเคฟลาร์ 0 2 4 6 8 และ 10 phr แสดงผลดังรูปที่ 4.3 และ 4.6 พบว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเส้นใยจาก 0 ถึง 8 phr เกิดประสิทธิภาพการเสริมแรงที่ดี กล่าวคือค่าความแข็งแรงกดและค่ามอดุลัสของยางที่ 10 และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเพิ่มขึ้น โดยค่ามอดุลัสของยางที่ 10 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้นเป็น 12 เท่า (จาก 0.70 เป็น 8.43 MPa) ส่วนค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด และค่าความต้านทานการขีดถูมีแนวโน้มลดลง ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 โดยการที่ความแข็งแรงของยางเพิ่มขึ้น ส่วนเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดลดลง เนื่องจากว่าเส้นใยเคฟลาร์มีความแข็งแรงมากกว่ายางเมื่อของผสมได้รับแรง ส่วนเส้นใยจะไม่มีเปลี่ยนแปลงขนาด แต่ส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนค่าความเครียด (Strain) คือ ยาง เมื่อเพิ่มปริมาณสารตัวเติม จะทำให้ยางได้รับความเครียดมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี “Strain amplification effect” การเพิ่มเส้นใยในยาง ทำให้ความแข็งแรงของของผสมสูงขึ้น นอกจากนี้แรงยึดเกาะระหว่างภูมิภาคของเส้นใยและภูมิภาคของยางอาจไม่ดี เนื่องจากเส้นใยเคฟลาร์เป็นเส้นใยเสริมแรงชนิดมีขั้ว แต่ยางไม่มีขั้วทำให้เกิดจุดบกพร่อง (Defects) ระหว่างรอยต่อบริเวณภูมิภาค ส่งผลให้เมื่อได้รับแรงกระทำจากภายนอกจึงไม่สามารถส่งผ่านแรงได้ โดยเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยในยางถอนขนไก่ พบว่าเส้นใยกระจายตัวได้ไม่ดี และทำให้เกิดจุดบกพร่องเพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 4.2

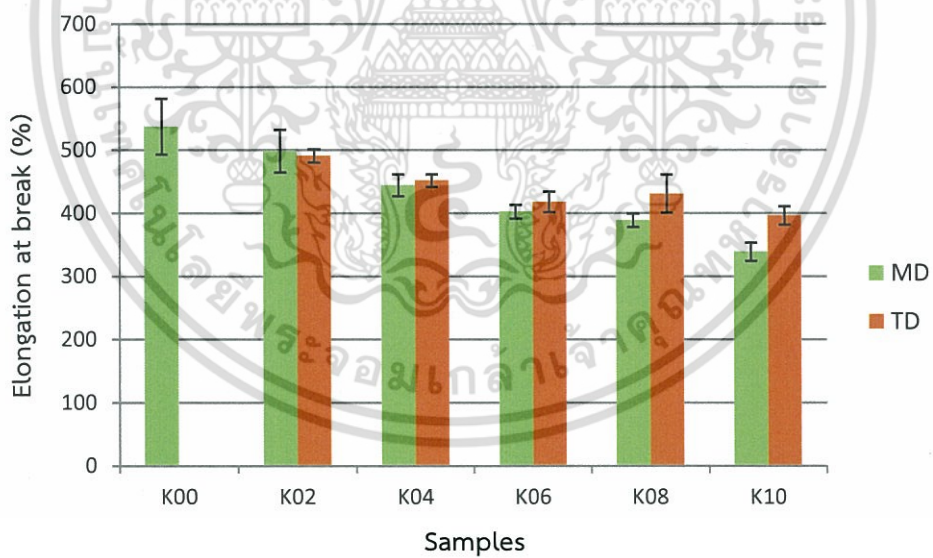


รูปที่ 4.3 ค่าความแข็งแรงกดของยางถอนขนไก่ : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยเคฟลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

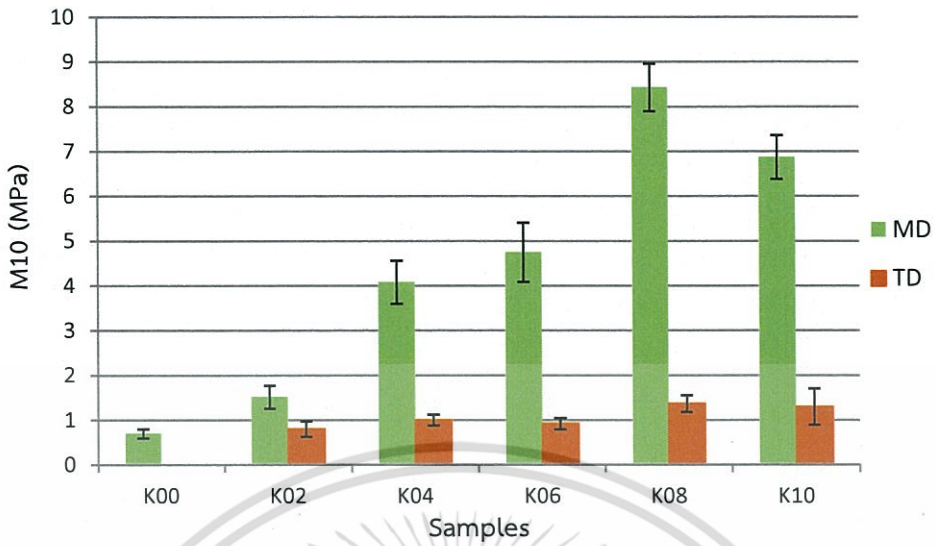


รูปที่ 4.4 ค่าความแข็งแรงดึงของยางถอนขนไก่ : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยเคฟลาร์

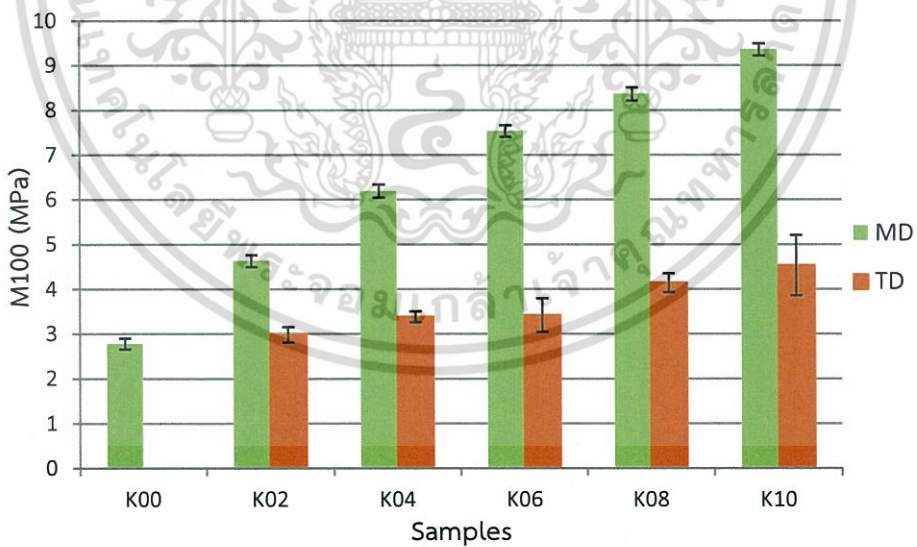


รูปที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของยางถอนขนไก่ : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยเคฟลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

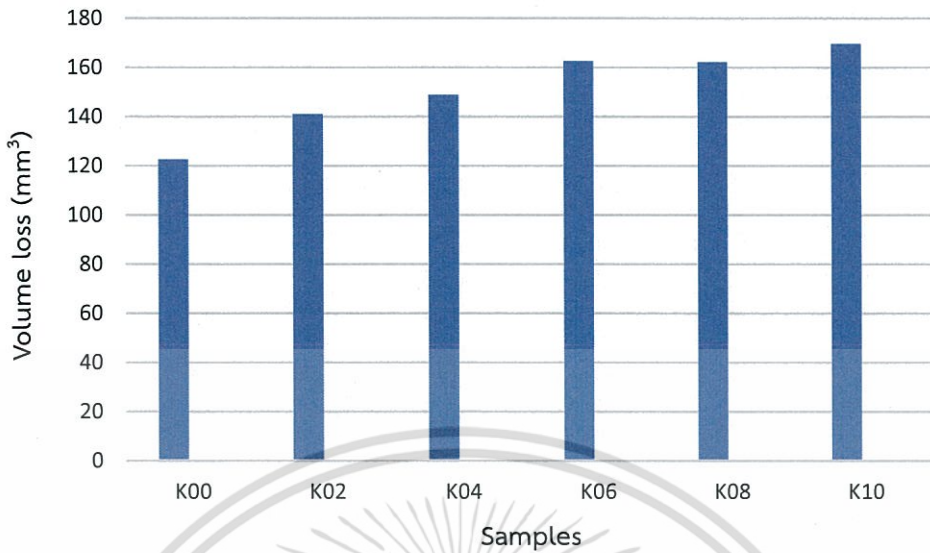


รูปที่ 4.6 มอดุลัสของยางที่ 10 เปอร์เซ็นต์ของยางถอนขนไก่ : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยเคพลาร์



รูปที่ 4.7 มอดุลัสของยางที่ 100 เปอร์เซ็นต์ของยางถอนขนไก่ : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยเคพลาร์

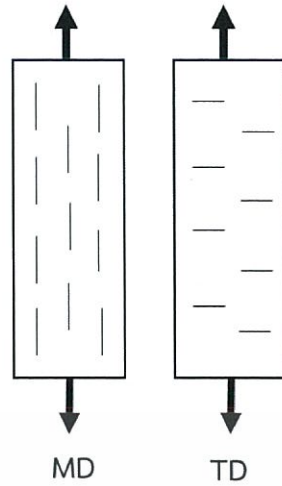
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



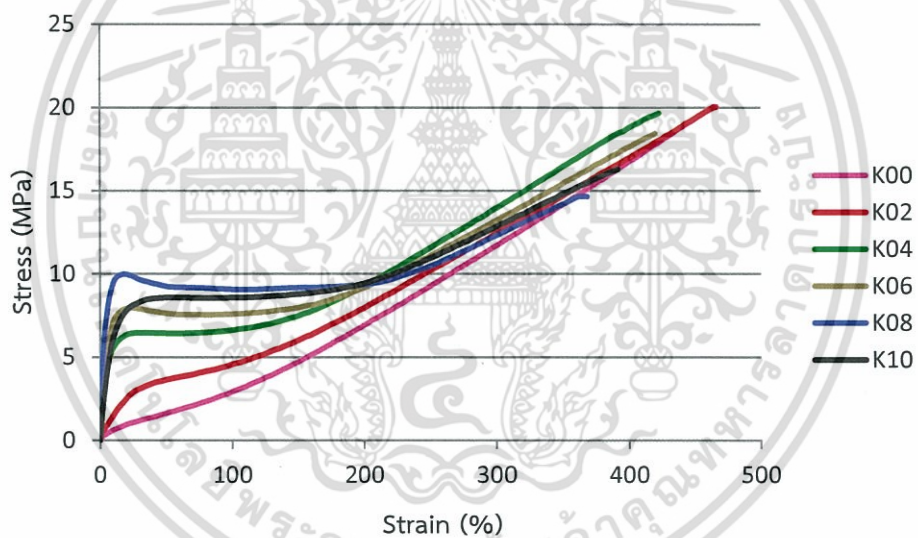
รูปที่ 4.8 ค่าความต้านทานการขาดของยางถอนขนไก่ : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยเคพลาร์

ในกรณีของกระบวนการผลิตยางถอนขนไก่ กระบวนการที่ใช้ในการขึ้นรูป คือ การฉีด (Injection molding) ซึ่งการฉีดผลิตภัณฑ์ที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใย จะทำให้มีการจัดเรียงตัวในทิศทางเดียว ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงต้องศึกษาการจัดเรียงตัวของเส้นใยใน 2 ทิศทาง คือ Machine Direction (MD) และ Transverse Direction (TD) ดังรูปที่ 4.9

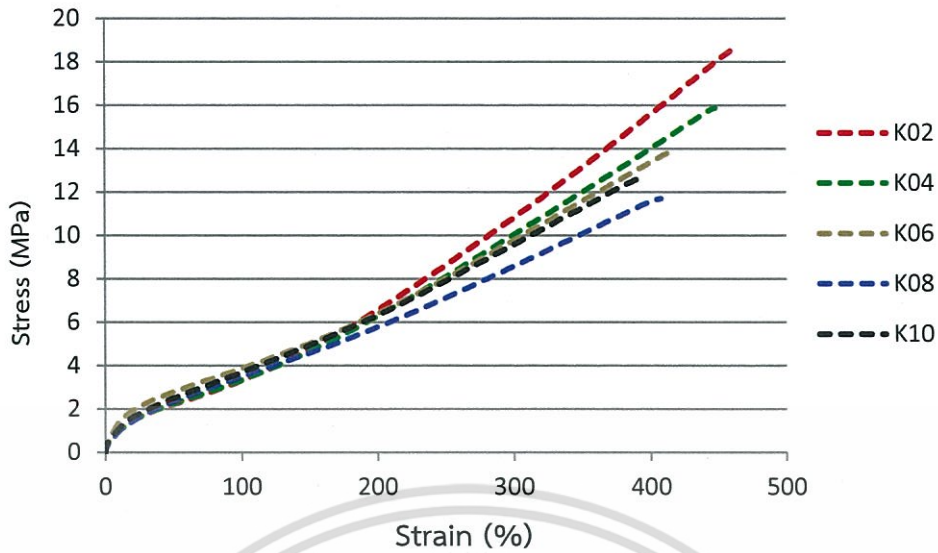
จากรูปที่ 4.10-4.11 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดในแนว MD และ TD ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของพฤติกรรมของยางระหว่างสองทิศทาง คือ ในแนว MD จะแสดงให้เห็นจุดคราก (Yield point) อย่างชัดเจน เนื่องจากในแนว MD เมื่อมีการเพิ่มปริมาณเส้นใย ความเหนียวจะเพิ่มขึ้นเมื่อทำการให้แรงจะส่งผลให้ความเหนียวจะบังคับเส้นใยให้มีการจัดเรียงตัวให้เป็นแนว MD ได้ดียิ่งขึ้น เมื่อเส้นใยมีการจัดเรียงตัวที่ดีขึ้น จึงส่งผลให้สมบัติเชิงกลในแนว MD มีค่าสูงกว่า TD โดยเฉพาะค่ามอดุลัสของยางที่ 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าในแนว MD มีแนวโน้มความแข็งแรงเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณเส้นใย แต่ในแนว TD จะพบว่า การเพิ่มปริมาณเส้นใย ไม่ได้ส่งผลให้สมบัติเชิงกลแตกต่างกัน



รูปที่ 4.9 แสดงการจัดเรียงตัวของเส้นใยในแนว MD และ TD

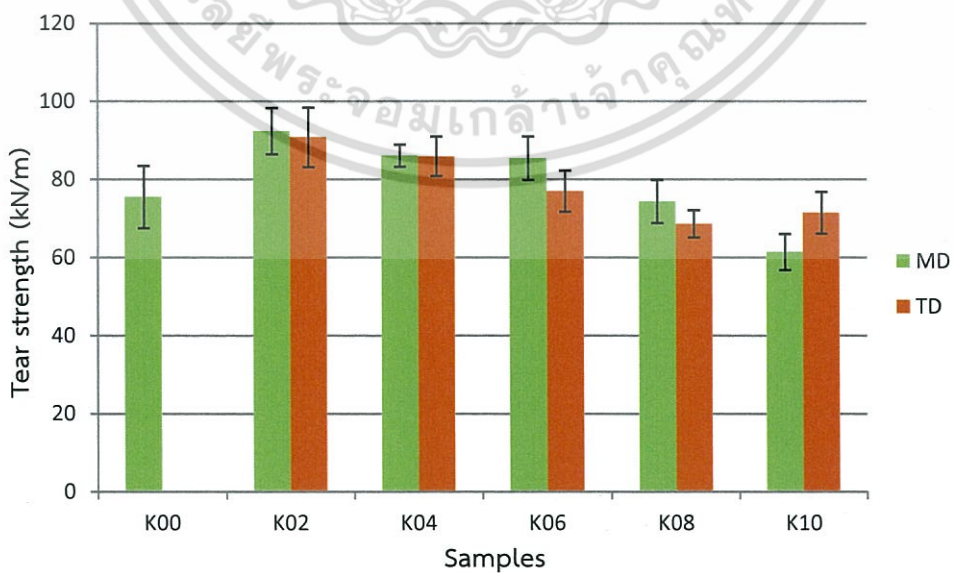


รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแนว Machine Direction (MD) : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยเคฟลาร์



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแนว Transverse Direction (TD) : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยเคฟลาร์

ค่าความแข็งแรงฉีกขาดมีค่าสูงสุดที่ปริมาณเส้นใย 2 phr เนื่องจากเส้นใยเคฟลาร์ที่ปริมาณมากขึ้น ทำการผสมได้ยากอาจทำให้ยางเกิดการเสียดสีระหว่างชั้นตอนการผสม โดยจะเห็นได้จากรูปที่ 4.12 เมื่อมีการเพิ่มปริมาณเส้นใยมากกว่า 2 phr ค่าความแข็งแรงฉีกขาดมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากการเพิ่มปริมาณเส้นใย จะเพิ่มโอกาสการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน เส้นใยไม่สามารถกระจายตัวได้อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสัณฐานวิทยาที่จะแสดงในตอนต่อไป ดังนั้นเมื่อทำการทดลองค่าความแข็งแรงฉีกขาด ยางจึงเกิดการฉีกขาดง่ายขึ้น

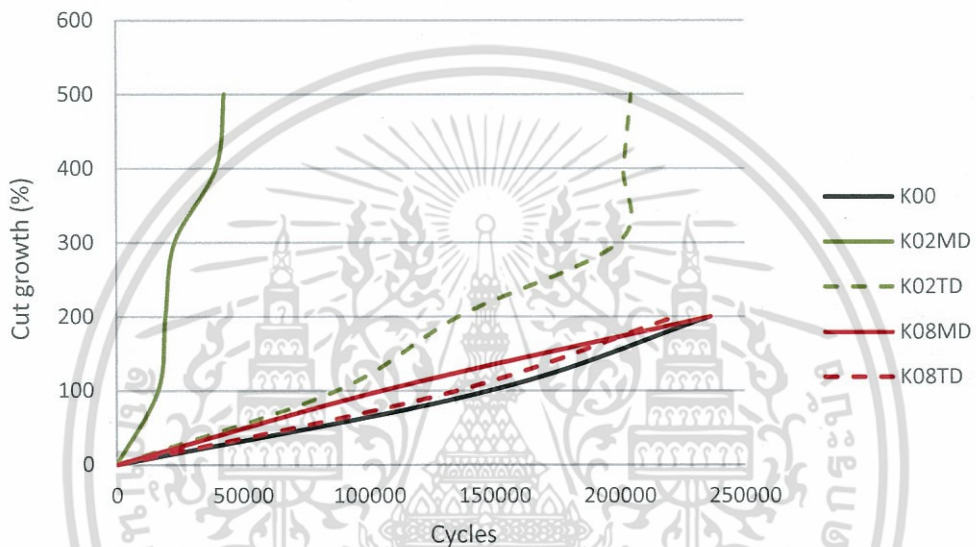


รูปที่ 4.12 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดยางถอนขนไก่ : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยเคฟลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบการต้านทานการหักงอ (Flex Cracking)

No.	Sample	Parameter	Result (Cycle)	
			MD	TD
1.	K00	Crack growth	740,000	
2.	K02		5,000	16,000
3.	K08		51,000	301,000



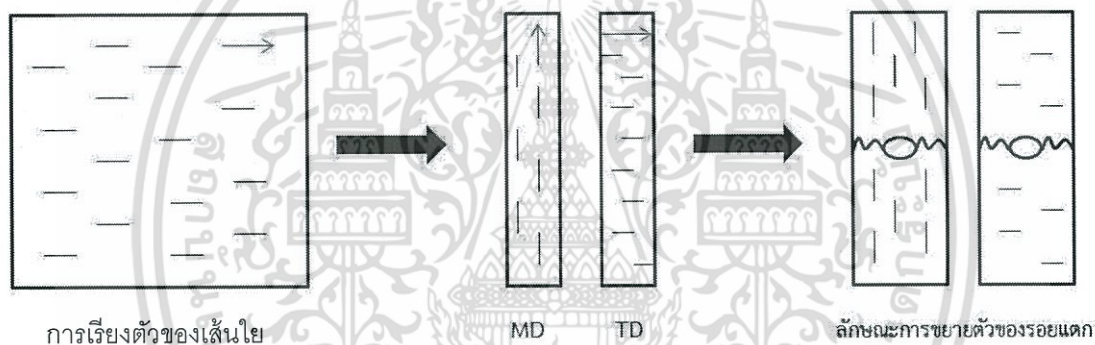
รูปที่ 4.13 แสดงผลการทดสอบการต้านทานการหักงอ (Ross Flex)

เนื่องจากการทดสอบการต้านทานการหักงอ มีความจำเป็นต้องส่งทดสอบแบบเฉพาะ จึงต้องคาดการณ์แนวโน้มความเป็นไปได้จากสมบัติเชิงกลบางประการ ซึ่งอาจมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับค่าการต้านทานการหักงอ โดยในกรณีนี้ผู้วิจัยได้ให้ความสนใจกับค่ามอดูลัสของยางที่ 10 เปอร์เซ็นต์ และความแข็งแรงฉีกขาด เพื่อเป็นตัวแทนในการทดสอบการต้านทานการหักงอ

จากตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบการต้านทานการหักงอ (Flex Cracking) พบว่าสูตรสูตรยางถนนชนิดที่ไม่มีเส้นใยเคลฟลาร์ (K00) มีจำนวนรอบในการพับงอสูงสุด รองลงมา คือสูตรที่มีการเติมเส้นใยที่ปริมาณ 8 phr (K08) และ 2 phr (K02) ตามลำดับ และจากรูปที่ 4.13 กราฟแสดงผลการทดสอบการต้านทานการหักงอ (Ross Flex) โดยพล็อตระหว่างเปอร์เซ็นต์การขยายตัวของรอยแตก (Cut growth) และจำนวนรอบการพับงอ (Cycles) ซึ่งค่าความชันที่ได้ คือ อัตราการขยายตัวของรอยแตก พบว่าสูตร K00 มีความชันน้อยที่สุด แสดงว่าสามารถต้านทานการหักงอได้

สูงที่สุด รองลงมา คือ K08 และ K02 เพราะสูตร K00 มีวัฏภาคของยางเพียงอย่างเดียว โอกาสในการเกิดจุดบกพร่องจึงมีน้อยกว่าสูตรที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใย

ในกรณีที่พิจารณาที่ปริมาณเส้นใยเคฟลาร์เท่ากัน หากเปรียบเทียบการเรียงตัวของเส้นใยในแนว Machine Direction (MD) และแนว Transverse Direction (TD) พบว่าแนว TD มีค่าการต้านทานการหักงอสูงกว่าแนว MD ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในการทดสอบเป็นการดูการขยายตัวของรอยแตก โดยรอยแตกจะขยายออกในแนวนอนตามรูปที่ 4.14 เมื่อทำการทดสอบชิ้นงานในแนว MD เนื่องจากเส้นใยมีความแข็งแรง จึงไม่ได้เกิดการพังอไปพร้อมกับวัฏภาคยาง ทำให้รอยแตกที่เกิดขึ้นจากการพังอขยายตัวไปถึงเส้นใย เส้นใยเสมือนเป็นตัวรับแรงโดยตรง จนเกิดการแตกหักได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้ค่าการต้านทานการหักงอในแนว MD ต่ำกว่าแนว TD ที่เส้นใยเรียงตัวในแนวเดียวกันกับการพังอ ค่าการต้านทานการหักงอที่ได้จึงมีค่าสูงกว่า



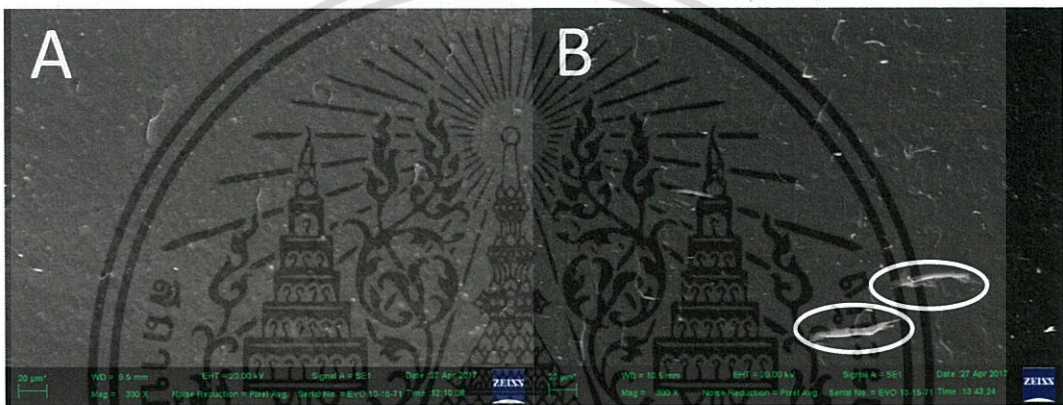
รูปที่ 4.14 แบบจำลองการขยายตัวของรอยแตกจากการทดสอบ Ross Flex และ Flex cracking

4.1.3 การศึกษาพื้นฐานวิทยา

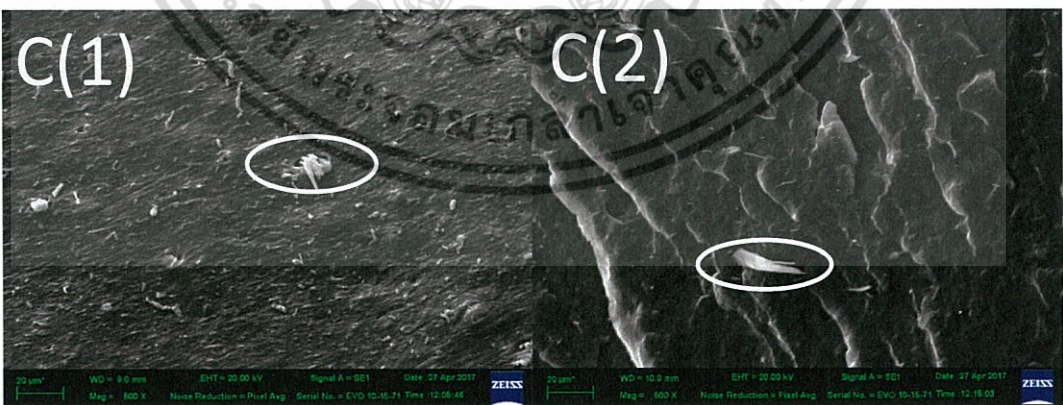
จากการศึกษาพื้นฐานวิทยาของยางลอนขนไก่ผสมเส้นใยเคฟลาร์ที่แตกหัก ณ สภาวะอุณหภูมิต่ำ (Cryogenic crack) จากรูปที่ 4.16 ที่กำลังขยาย 300 เท่า พบว่ายางลอนขนไก่ที่มีการเติมเส้นใย 0 2 และ 8 phr เส้นใยเคฟลาร์มีการกระจายตัวดีภายในเนื้อยาง แต่จากรูป 4.16 (B) พบว่าที่ปริมาณเส้นใย 8 phr เส้นใยมีการเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนบางส่วน และจากรูป 4.17 (C(1)) และ (C(2)) ที่กำลังขยาย 300 เท่า พบว่าเส้นใยมีการจัดเรียงตัวตามทิศทาง Machine Direction (MD) และทิศทาง Transverse Direction (TD) ตามลำดับ



รูปที่ 4.15 สัณฐานวิทยาของเส้นใยเคพลาร์ (กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า ตามลำดับ)



รูปที่ 4.16 สัณฐานวิทยาของยางถอนขนไก่ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยเคพลาร์ A : K00, B : K08, (กำลังขยาย 300 เท่า)



รูปที่ 4.17 สัณฐานวิทยาของยางถอนขนไก่ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยเคพลาร์ C(1) : K02 (MD) และ C(2) : K02 (TD) (กำลังขยาย 500 เท่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลของสารช่วยกระจายตัวที่มีต่อการกระจายตัวของเส้นใยเคפלาร์

● Struktol® WB 222

4.2.1 การศึกษาพฤติกรรมกรรมการเชื่อมโยง

จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของยางถอนขนไก่ที่มีการผสมเส้นใยเคפלาร์ที่ปริมาณต่างๆ พบว่า มีสมบัติเชิงกลบางประการดีที่สุด แต่เนื่องจากในการศึกษาสัณฐานวิทยาของยางถอนขนไก่ พบว่าปริมาณเส้นใยที่ 8 phr มีการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ดังนั้น ในการทดลองนี้จึงทำการทดลองนี้จึงทำการศึกษาสารช่วยกระจายตัว คือ Struktol® WB 222 กำหนดให้มีปริมาณ 0 25 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเส้นใย โดยควบคุมปริมาณเส้นใยเคפלาร์ 8 phr

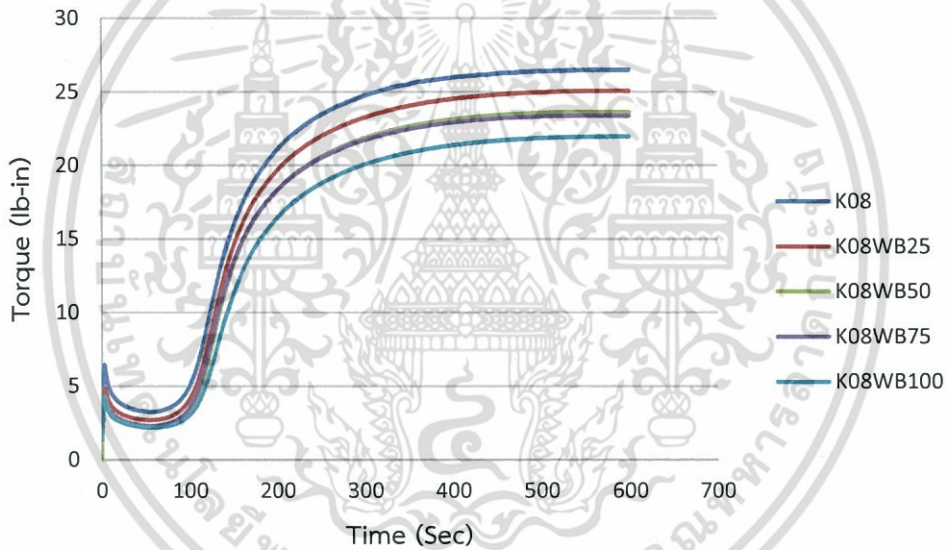
จากรูปที่ 4.18 และตารางที่ 4.4 แสดงพฤติกรรมกรรมการเชื่อมโยงของยาง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสูตรที่ไม่มีสารกระจายตัว (K08) และสูตรที่มีการใส่สารกระจายตัว (K08WB25) พบว่า Scorch time, Cure time ลดลง และ Cure rate index เพิ่มขึ้น เนื่องจาก Struktol® WB 222 มีโครงสร้างเป็นเกลือของกรดไขมัน ทำหน้าที่คล้ายสารลดแรงตึงผิว (Surfactants) ซึ่งจะเป็นตัวช่วยให้ยางไหลได้ดี ยางจึงเชื่อมโยงได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าหากเปรียบเทียบในส่วนของ การปรับเปลี่ยนปริมาณสารกระจายตัว พบว่าพฤติกรรมกรรมการเชื่อมโยงไม่ได้แตกต่างกัน

4.2.2 การศึกษาสมบัติเชิงกล

จากรูปที่ 4.20-4.25 แสดงผลการทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าการใส่สารช่วยกระจายตัวในปริมาณที่แตกต่างกัน ไม่ได้ส่งผลให้สมบัติเชิงกลแตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเพราะสารช่วยกระจายตัวไม่สามารถแทรกเข้าไปในเส้นใยหรือไม่สามารถทำลายพันธะในโครงสร้างของเส้นใยได้ เพราะสารกระจายตัวอาจจะมีจุดหลอมเหลวสูงเกินไป ทำให้ไม่สามารถแตกตัวเป็นโมเลกุลที่เล็กพอ จึงไม่สามารถแทรกเข้าไปในโครงสร้างของเส้นใยได้ นอกจากนี้เส้นใยเคפלาร์มีโครงสร้างเป็นเอไมด์ ซึ่งประกอบด้วยพันธะไฮโดรเจนเป็นจำนวนมาก อาจจะทำให้อันตรกิริยาของเส้นใยดีมาก แรงเฉือนจากเครื่องผสมไม่เพียงพอสำหรับการทำลายพันธะในโครงสร้างของเส้นใย สารช่วยกระจายตัวจึงไม่มีผลกับการทดลองในขั้นตอนนี้ ดังนั้นจึงไม่เห็นความแตกต่างของพฤติกรรมและสมบัติดังกล่าว ยกเว้นค่ามอดูลัสของยางที่ 10 เปอร์เซ็นต์ มีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากสารช่วยกระจายตัว เมื่อมีการหลอมเหลว จะทำหน้าที่คล้าย Processing aid ซึ่งจะทำให้ยางมีความแข็งแรงลดลง

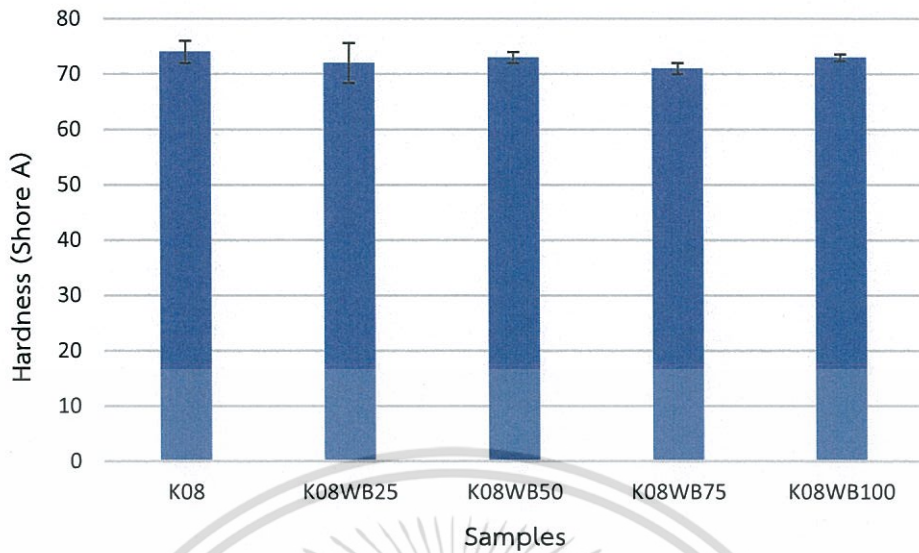
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความหนืดมูนนี่และพฤติกรรมการเชื่อมโยง : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222)

Samples	Mooney (ML (1+4 100 °C))	M _L (lbf.in)	M _H (lbf.in)	t _{s2} (min)	t _{c90} (min)	CRI (min ⁻¹)
K08	28.4	3.4	29.6	1.6	5.1	28.5
K08WB25	25.1	3.1	28.9	1.5	4.4	33.9
K08WB50	19.5	2.7	27.2	1.5	4.4	34.0
K08WB75	22.3	2.6	27.0	1.5	4.4	34.3
K08WB100	20.7	2.5	25.3	1.5	4.7	32.9

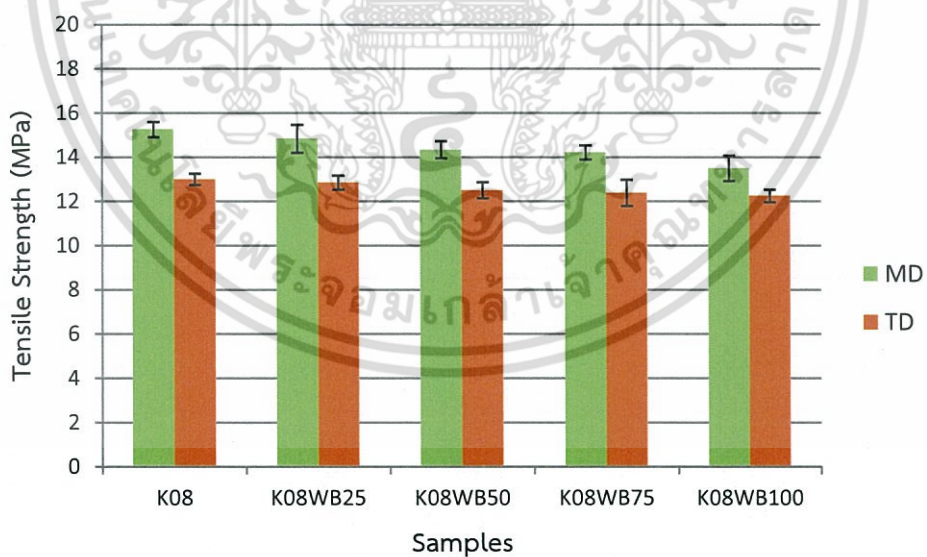


รูปที่ 4.18 กราฟการเชื่อมโยงยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

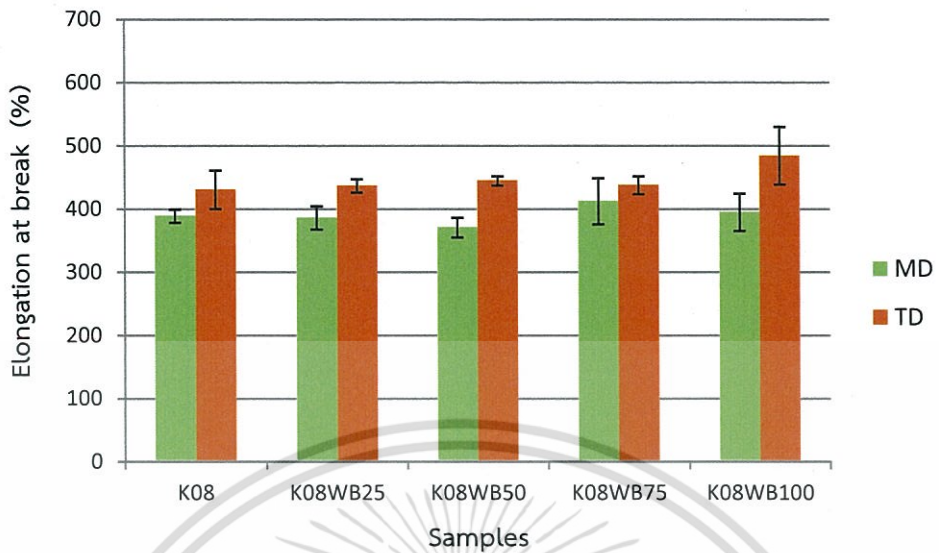


รูปที่ 4.19 ค่าความแข็งกดของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222)

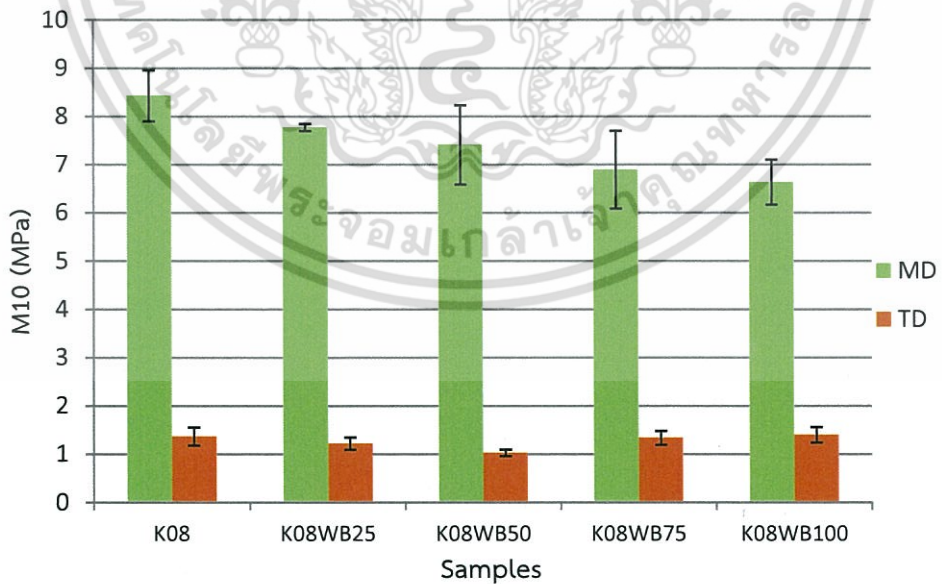


รูปที่ 4.20 ค่าความแข็งแรงดึงยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

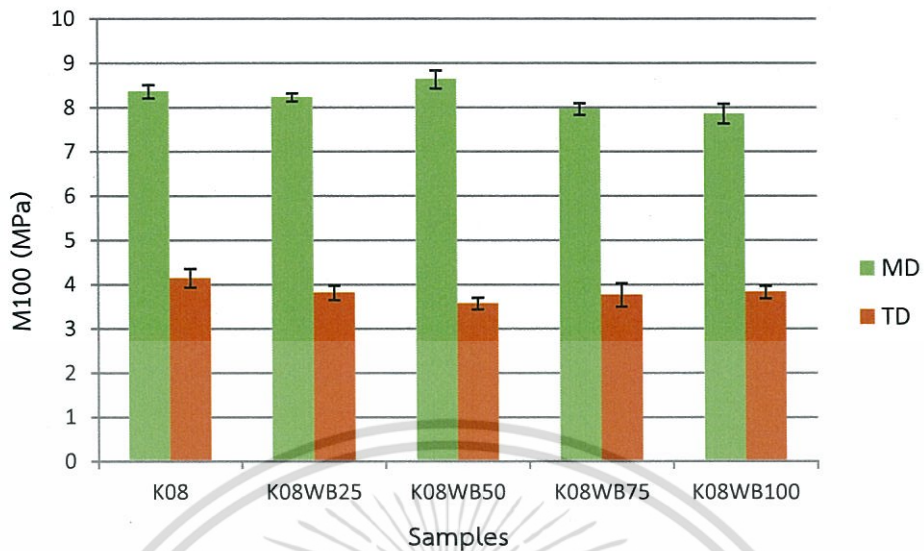


รูปที่ 4.21 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222)

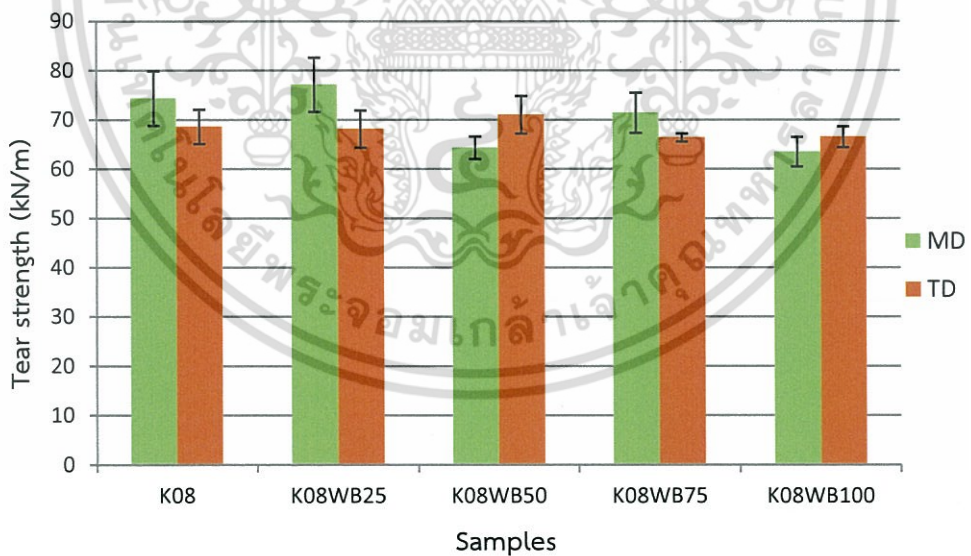


รูปที่ 4.22 โมดูลัสของยางที่ 10 เปอร์เซ็นต์ของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

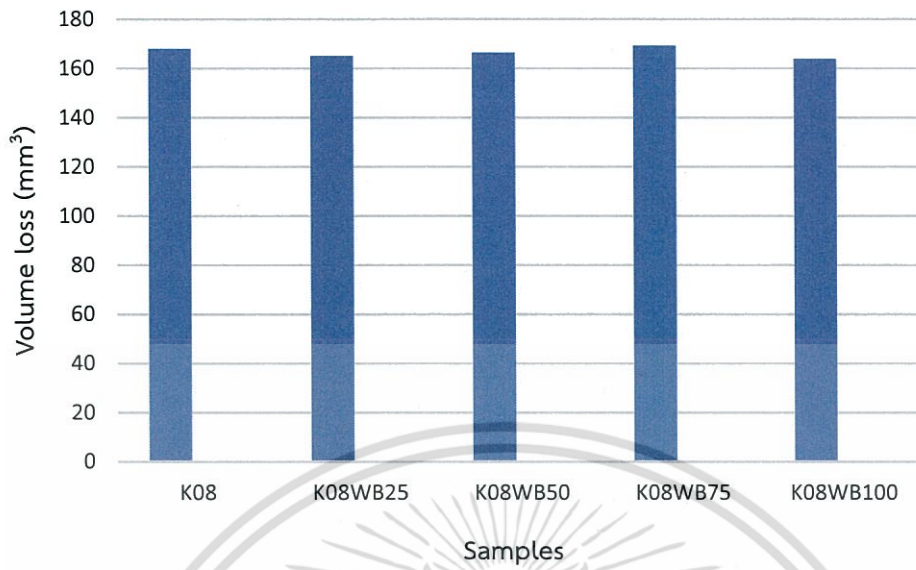


รูปที่ 4.23 มอดุลัสของยางที่ 100 เปอร์เซ็นต์ของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222)

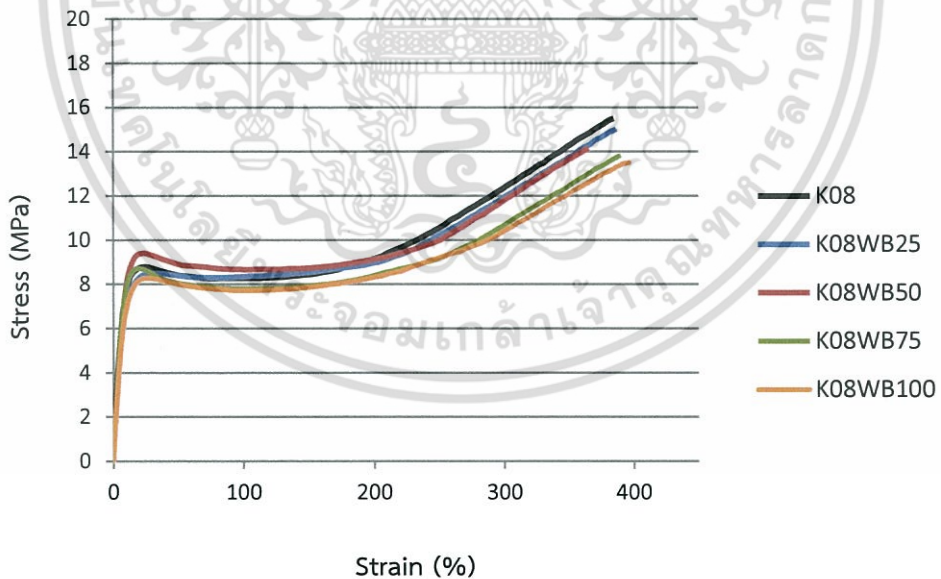


รูปที่ 4.24 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

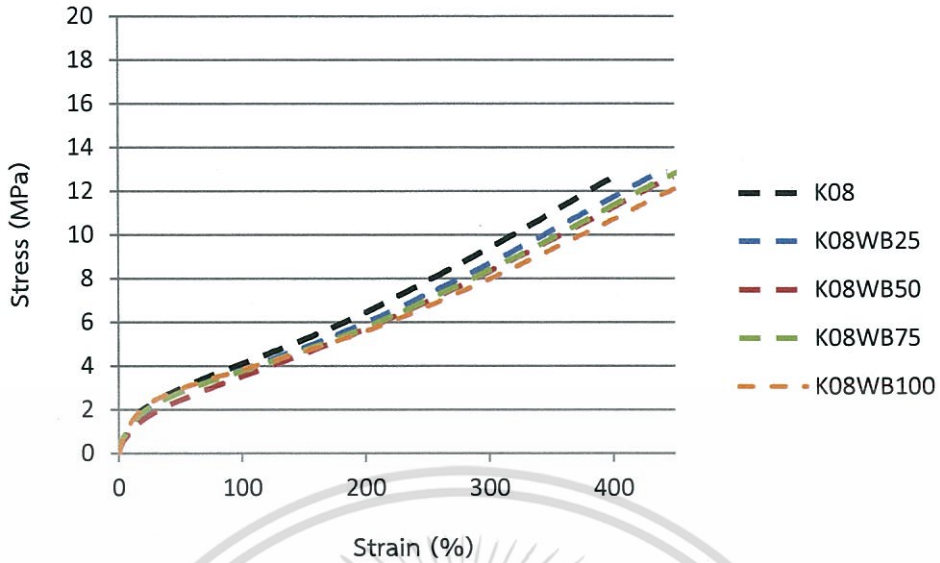


รูปที่ 4.25 ค่าความต้านทานการขีดถูของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222)



รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแนว Machine Direction (MD) : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแนว Transverse Direction (TD) : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222)

4.2.3 การศึกษาพื้นฐานวิทยา

จากการศึกษาพื้นฐานวิทยาที่กำลังขยาย 300 เท่า พบว่าการใส่สารช่วยกระจายตัวส่งผลให้เส้นใยเคฟลาร์มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในทุกบริเวณของวัฏภาคยาง การจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนของเส้นใยมีน้อยลง แสดงได้ดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 พื้นฐานวิทยาของยางถอนขนไก่ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยเคฟลาร์ A(1) : K02, A(2) : K02+Dispersing agent (กำลังขยาย 300 เท่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Ultralube® 250

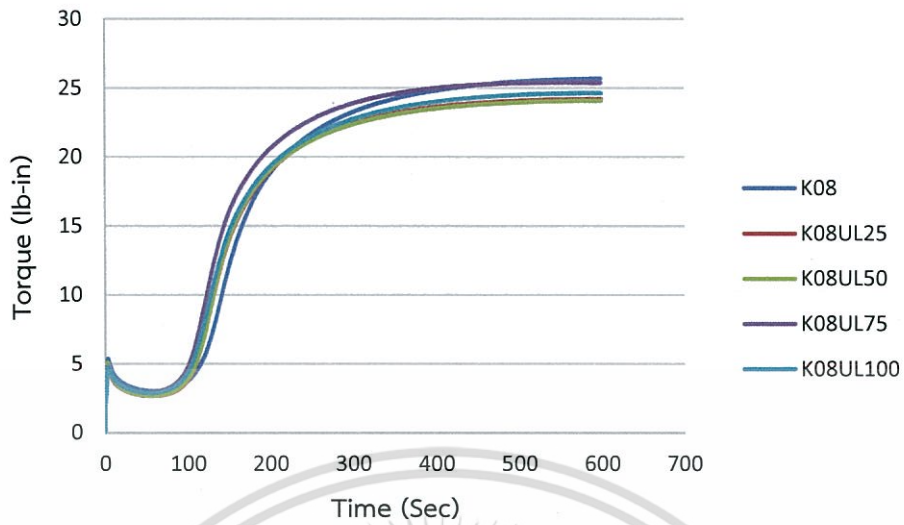
4.2.4 การศึกษาพฤติกรรมการเชื่อมโยงและสมบัติเชิงกล

จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของยางถอนขนไก่ที่มีการผสมเส้นใยเคฟลาร์ที่ปริมาณต่างๆ พบว่ามีสมบัติเชิงกลบางประการดีที่สุด แต่เนื่องจากในการศึกษาสัณฐานวิทยาของยางถอนขนไก่ พบว่าปริมาณเส้นใยที่ 8 phr มีการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ดังนั้นในการทดลองนี้จึงทำการทดลองนี้จึงทำการศึกษาสารช่วยกระจายตัว คือ Ultralube® 250 กำหนดให้มีปริมาณ 0 25 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเส้นใย โดยควบคุมปริมาณเส้นใยเคฟลาร์ 8 phr

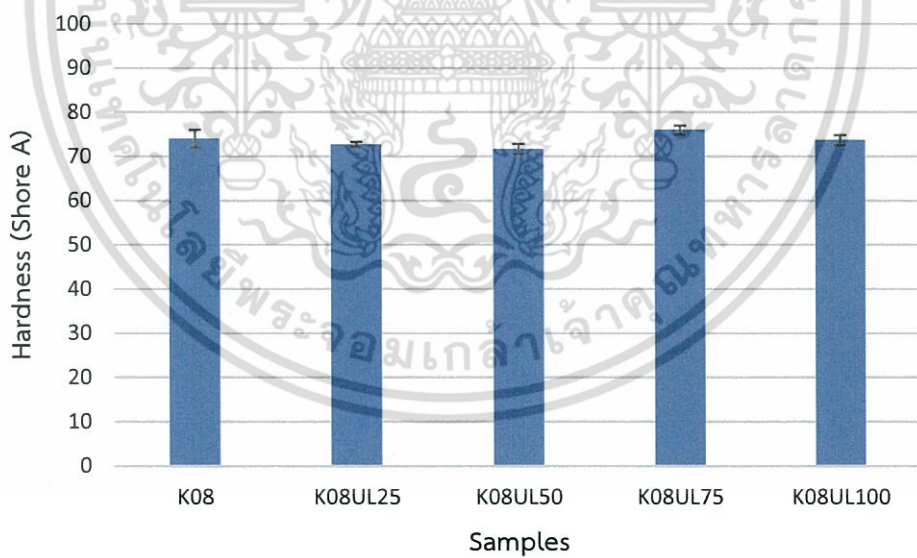
จากรูปที่ 4.29 และ ตารางที่ 4.5 พบว่า Scorch time, Cure time และ Cure rate index และจากรูปที่ 4.30-4.36 แสดงค่าสมบัติเชิงกล จะเห็นได้ว่าการใส่สารช่วยกระจายตัวไม่ส่งผลให้พฤติกรรมการเชื่อมโยง และสมบัติเชิงกลแตกต่างกัน

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความหนืดมูนนี่และพฤติกรรมการเชื่อมโยง : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250)

Samples	Mooney (ML (1+4 100 °C)	M _L (lbf.in)	M _H (lbf.in)	t _{s2} (min)	t _{c90} (min)	CRI (min ⁻¹)
K08	28.4	3.4	29.6	1.6	5.1	28.5
K08UL25	24.6	3.1	27.9	1.5	4.4	33.9
K08UL50	26.1	3.1	27.8	1.5	4.4	34.3
K08UL75	27.5	3.4	29.3	1.4	4.3	35.0
K08UL100	27.5	3.3	28.4	1.4	4.5	33.0

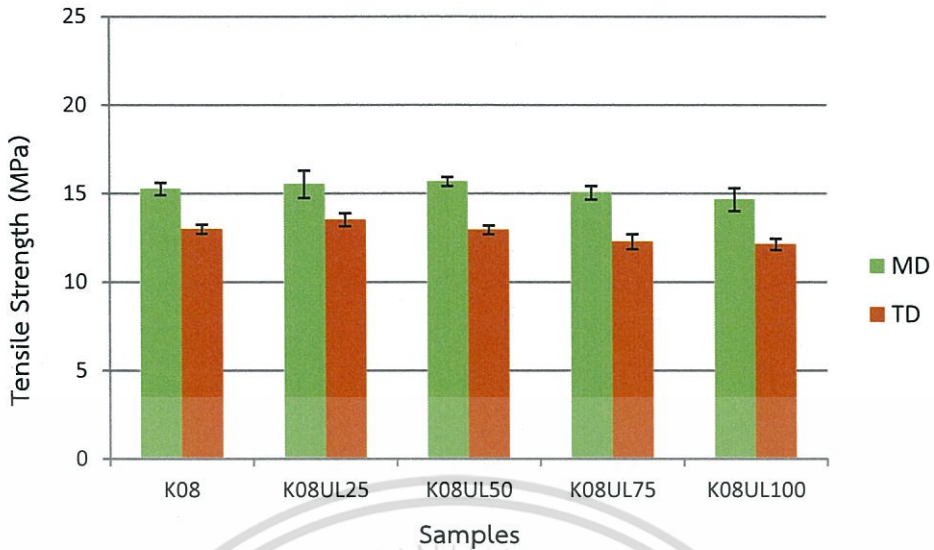


รูปที่ 4.29 กราฟการเชื่อมโยงของยางถนนไนท์ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250)

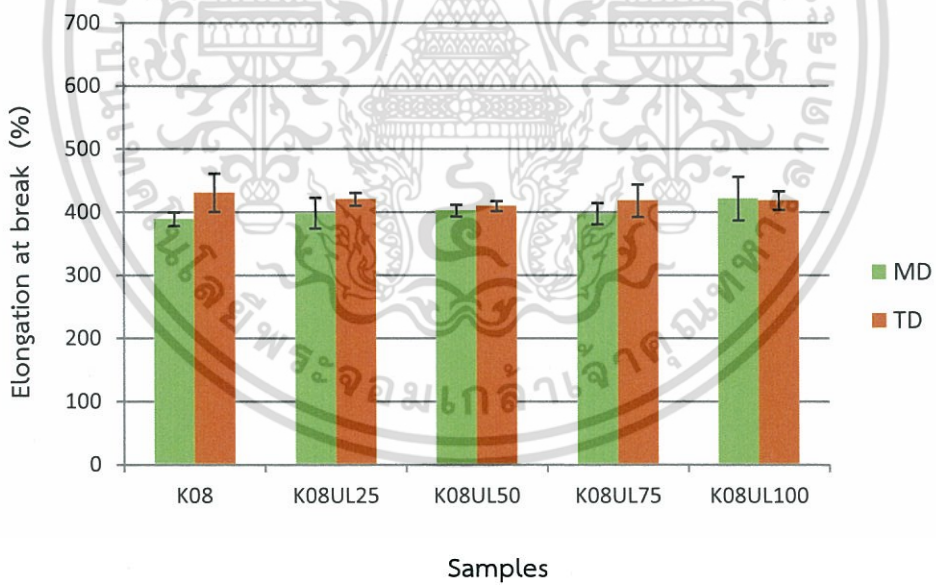


รูปที่ 4.30 ค่าความแข็งกดของยางถนนไนท์ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

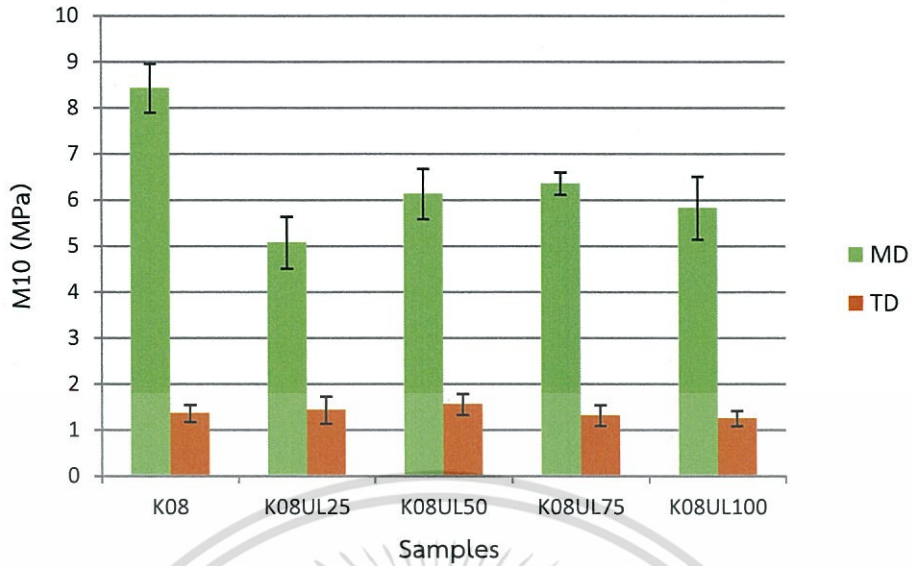


รูปที่ 4.31 ค่าความแข็งแรงดึงของยางถนอขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250)

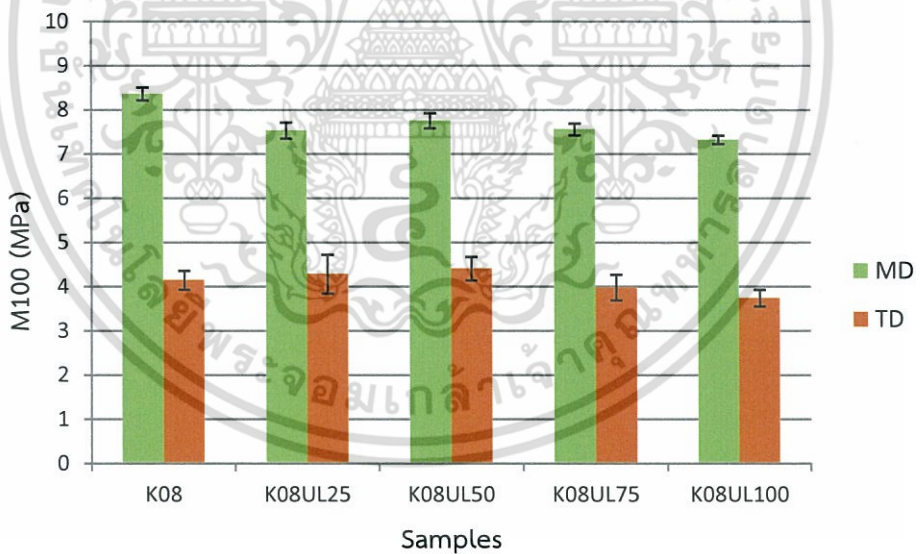


รูปที่ 4.32 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของยางถนอขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

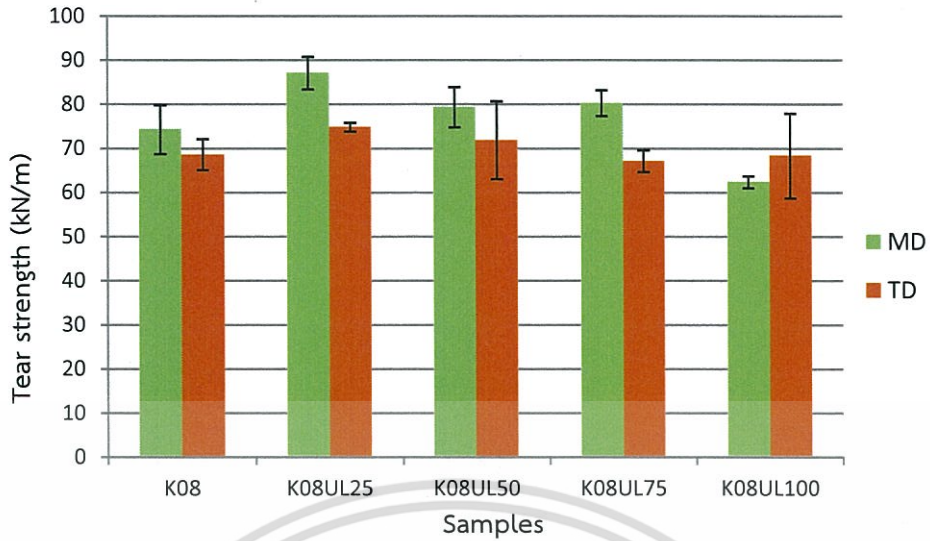


รูปที่ 4.33 มอดุลัสของยางที่ 10 เปอร์เซ็นต์ของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250)

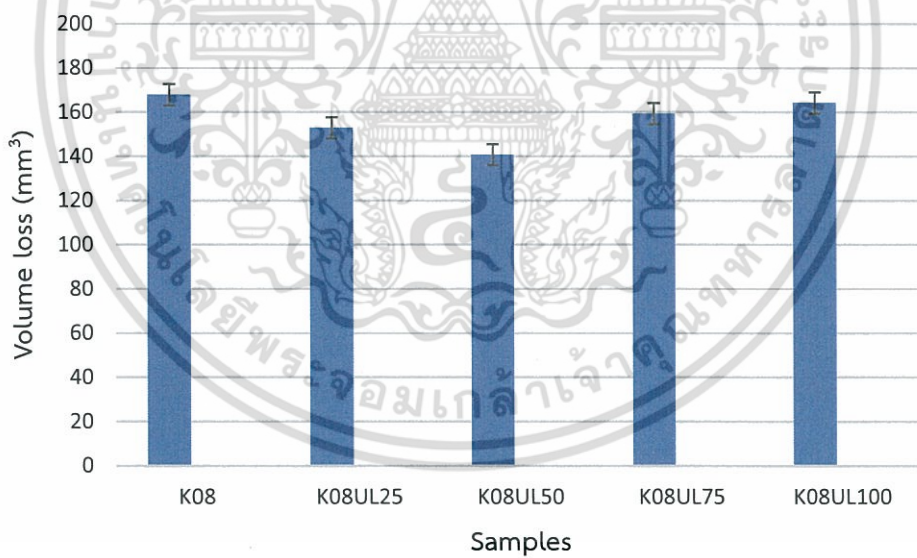


รูปที่ 4.34 มอดุลัสของยางที่ 100 เปอร์เซ็นต์ของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

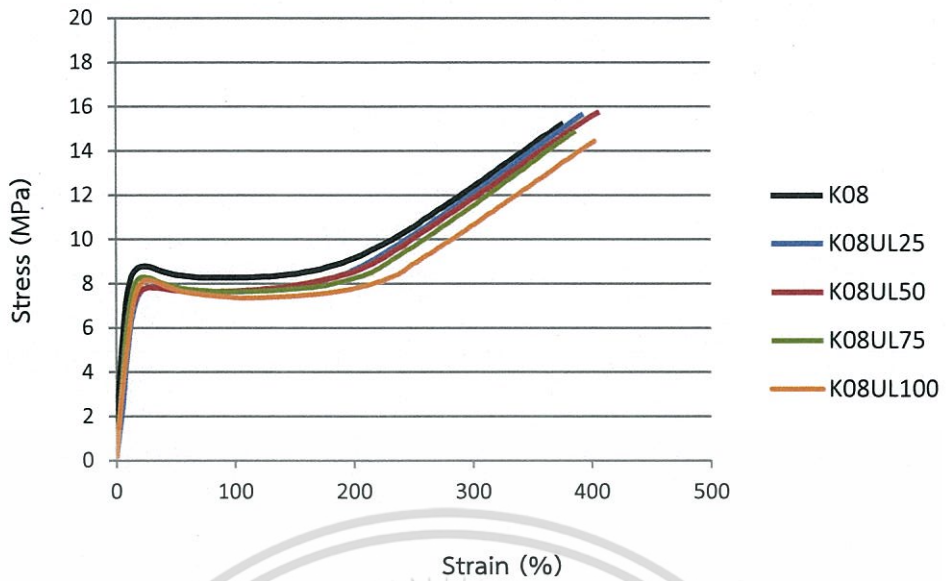


รูปที่ 4.35 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250)

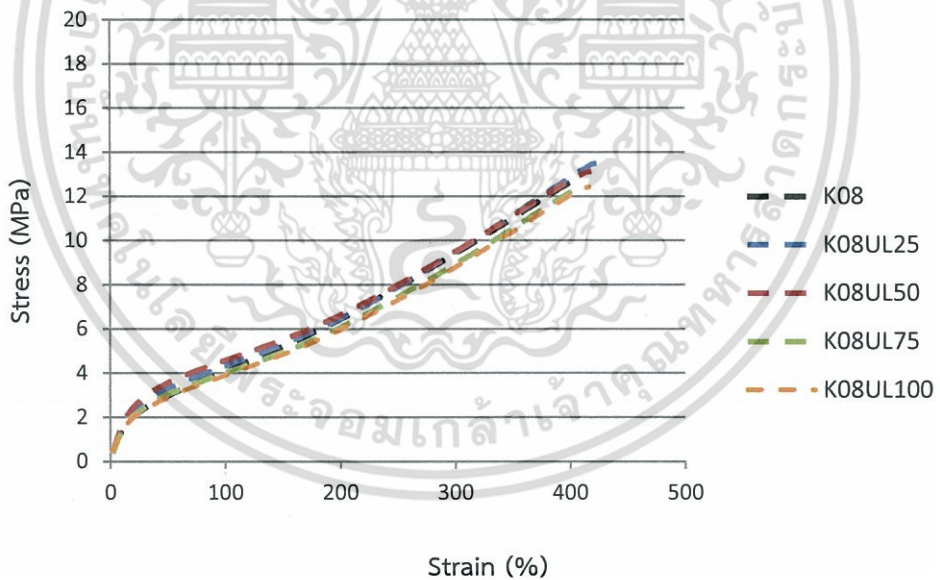


รูปที่ 4.36 ค่าความต้านทานการขัดถูของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแนว Machine Direction (MD) : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250)



รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแนว Transverse Direction (TD) : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลของการใส่ฟีนอลิกเรซิน (Bakelite®PF 0222 SP 06; SP222)

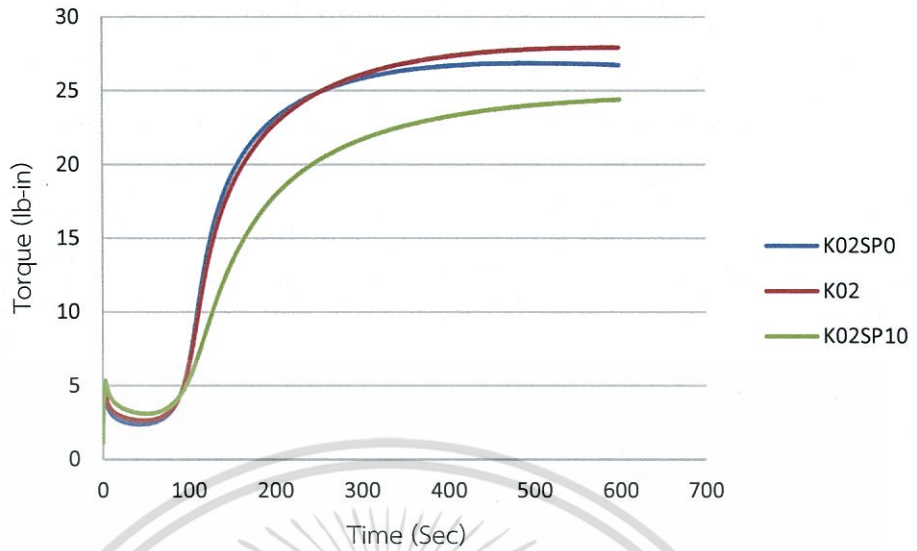
เนื่องจากการศึกษาสัณฐานวิทยาของยางถอนชนไก่ที่มีการผสมเส้นใยเคฟลาร์ พบว่าการยึดเกาะกัน (Interfacial adhesion) ระหว่างวัฏภาคของเส้นใย และวัฏภาคยางนั้นยังไม่ได้ ด้วยเหตุผลที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ดังนั้นในการทดลองตอนนี้จึงได้ทำการศึกษาการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222) ลงในสูตรยางถอนชนไก่ด้วยปริมาณที่แตกต่างกัน คือ 0 1.5 และ 10 phr โดยควบคุม ปริมาณเส้นใยเคฟลาร์ที่ 2 phr

จากรูปที่ 4.39 และตารางที่ 4.6 แสดงพฤติกรรมกรรมการเชื่อมโยงยาง พบว่าเมื่อมีการ ใส่ฟีนอลิกเรซิน ทำให้ Scorch time และ Cure time เพิ่มขึ้น ส่วน Cure rate index ลดลง เนื่องจาก SP222 ทำหน้าที่เป็นสารที่เป็นตัวช่วยเพิ่มการยึดติด (Tackifier) ซึ่งในโครงสร้าง ประกอบด้วยวงอะโรมาติกที่สามารถไปจับอนุมูลอิสระ (Free radical) ได้ จึงส่งผลให้การเชื่อมโยง ยางลดลง

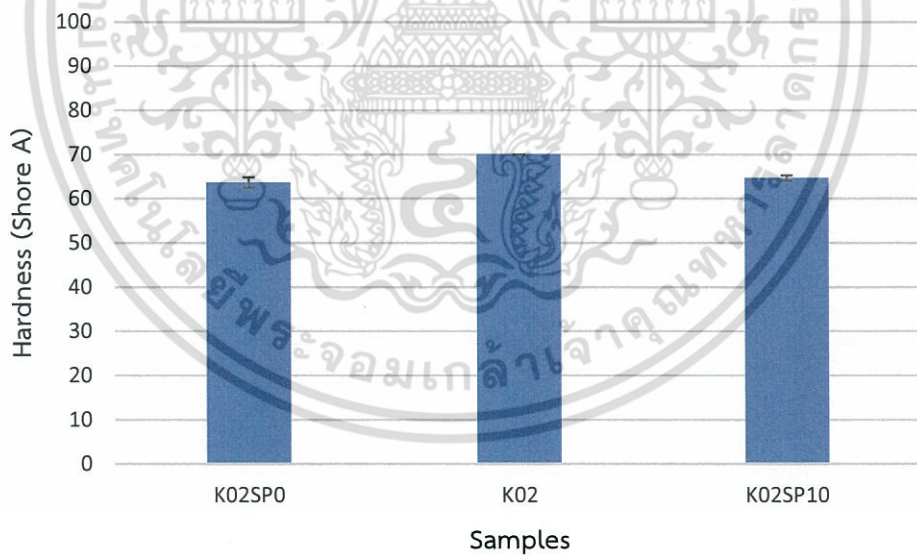
จากรูปที่ 4.40-4.46 แสดงสมบัติเชิงกล พบว่าการใส่ฟีนอลิกเรซินในปริมาณที่ แตกต่างกัน ไม่ส่งผลให้สมบัติเชิงกลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจาก SP222 เป็นสารประกอบ Hexamethylenetetramine เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงก็จะแข็งตัว ซึ่งในการที่เรซินไปเคลือบเส้นใย อาจทำให้เส้นใยเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ดังนั้นการใช้ SP222 ในปริมาณที่แตกต่างกัน จึงไม่ ส่งผลให้สมบัติต่างๆ แตกต่างกันอย่างใด

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความเหนียวและพฤติกรรมกรรมการเชื่อมโยง : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222)

Samples	Mooney (ML (1+4 100 °C))	M _L (lbf.in)	M _H (lbf.in)	t _{s2} (min)	t _{c90} (min)	CRI (min ⁻¹)
K02SP0	26.7	2.7	30.7	1.3	3.5	44.6
K02	26.0	3.0	32.2	1.3	4.3	33.7
K02SP10	24.4	3.1	24.4	1.4	5.3	25.5

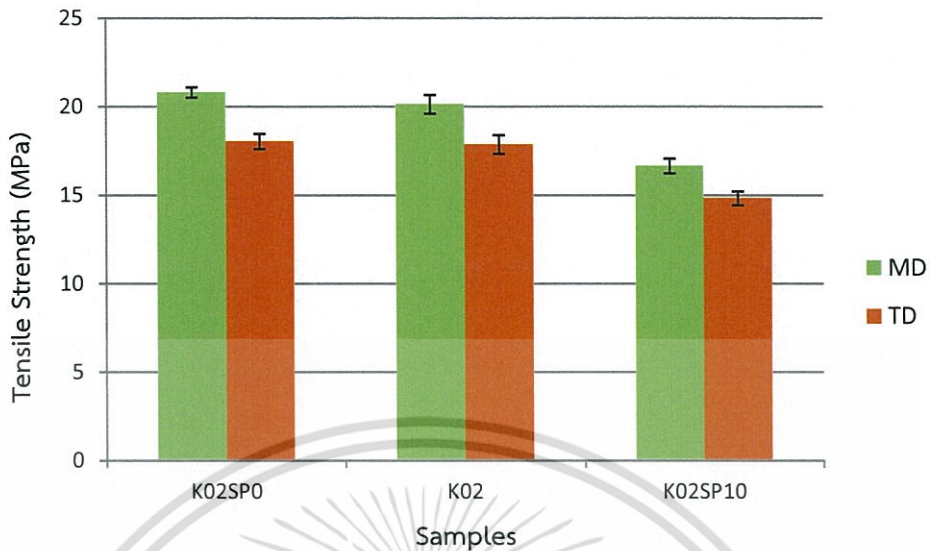


รูปที่ 4.39 กราฟการเชื่อมโยงของยางถนอนขนไก่ : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222)

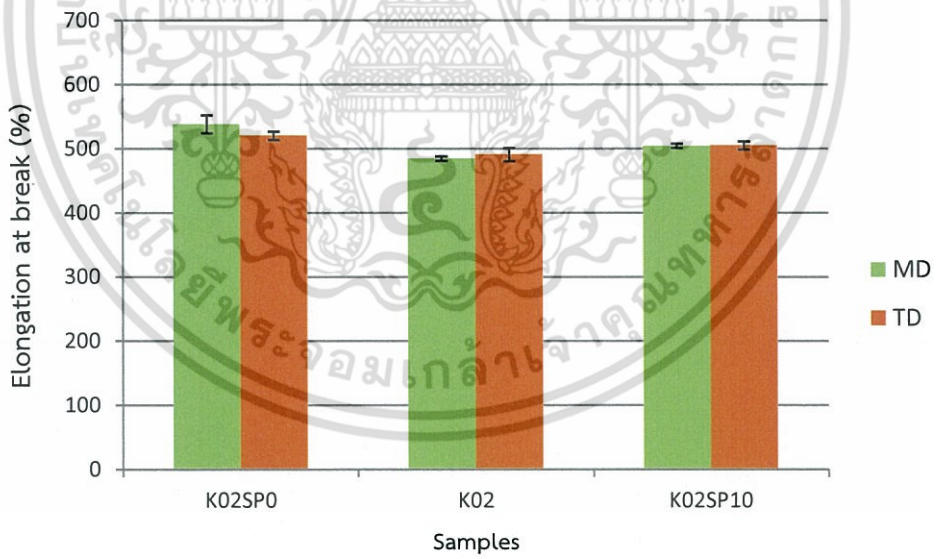


รูปที่ 4.40 ค่าความแข็งกดของยางถนอนขนไก่ : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

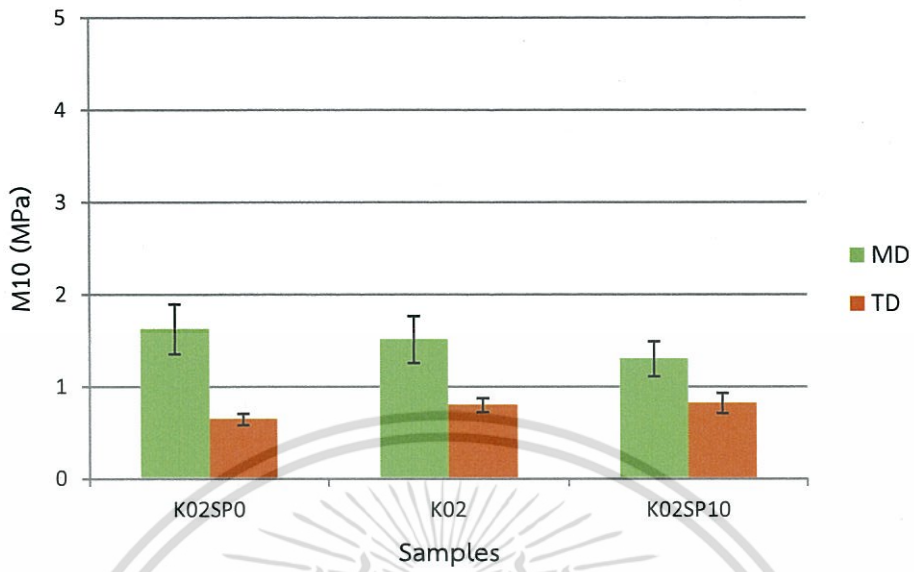


รูปที่ 4.41 ค่าความแข็งแรงดึงของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222)

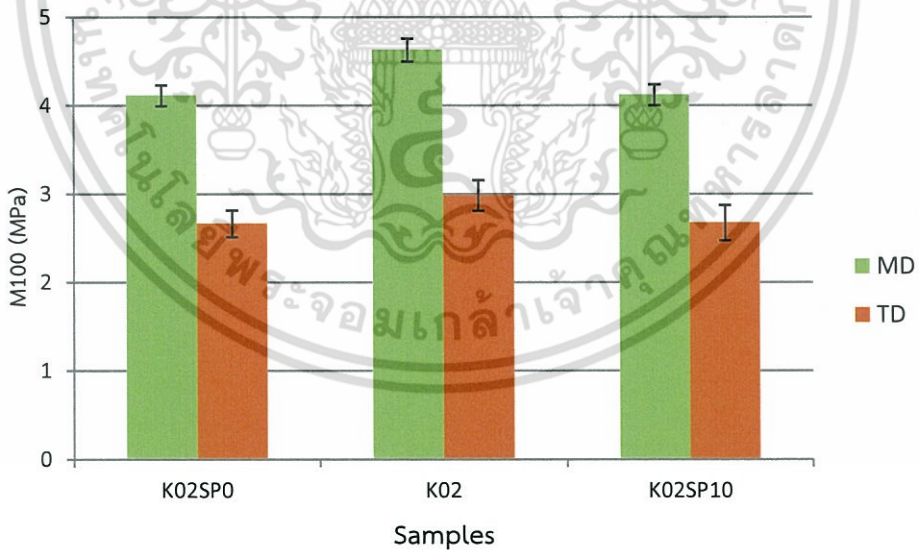


รูปที่ 4.42 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

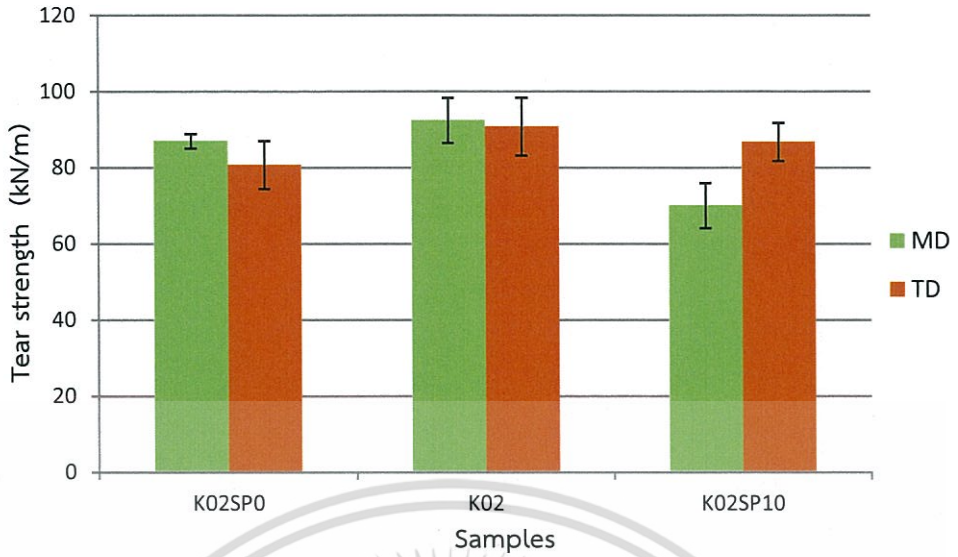


รูปที่ 4.43 มอดุลัสของยางที่ 10 เปอร์เซ็นต์ของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222)

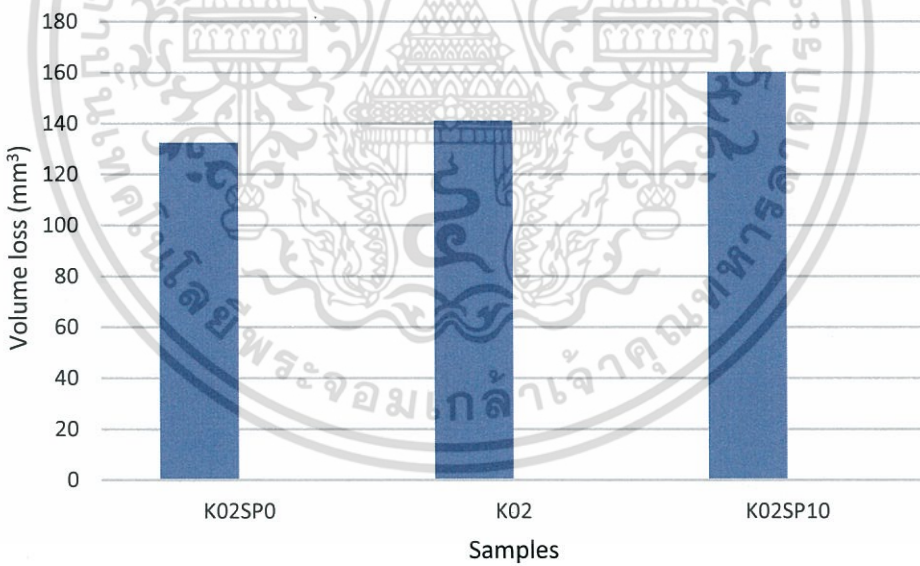


รูปที่ 4.44 มอดุลัสของยางที่ 100 เปอร์เซ็นต์ของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

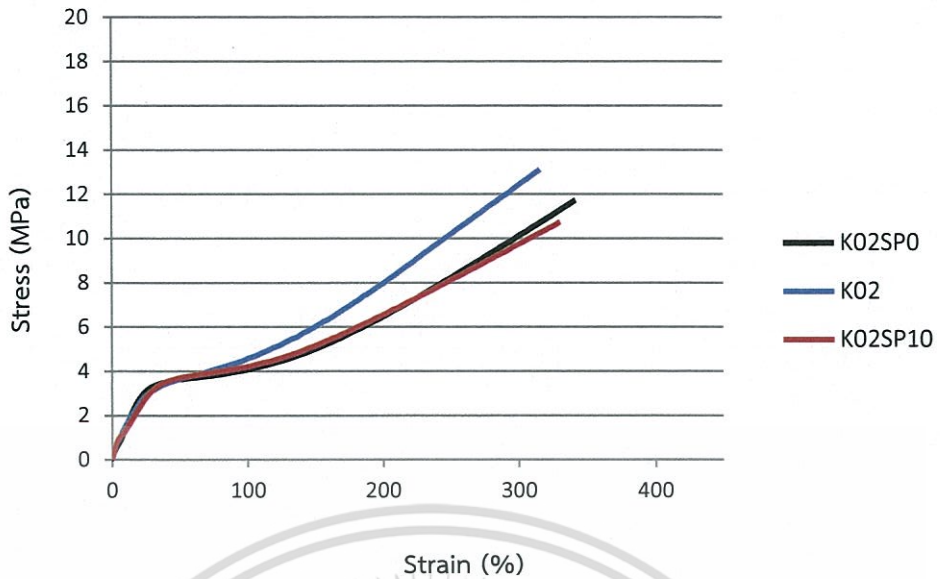


รูปที่ 4.45 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของยางถนนไม้ : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222)

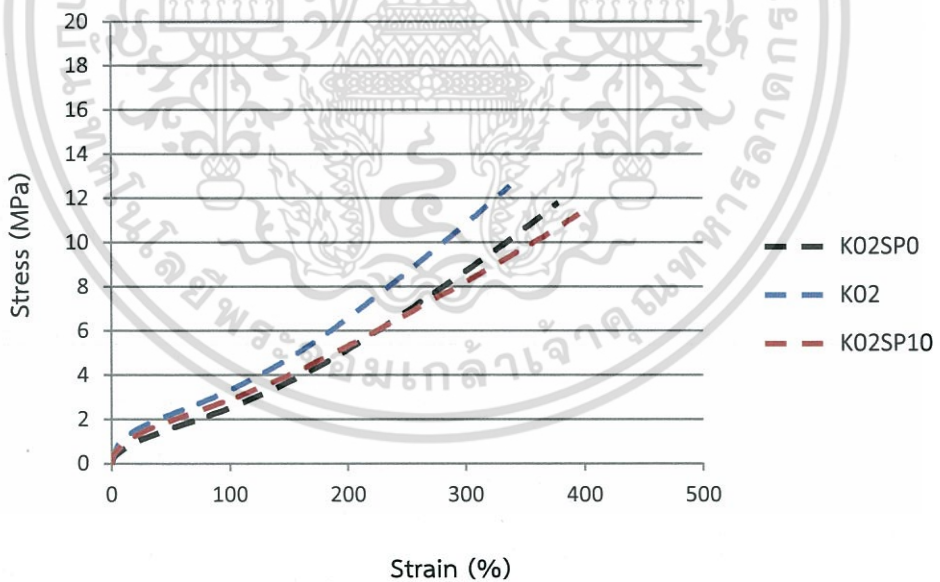


รูปที่ 4.46 ค่าความต้านทานการขีดถูของยางถนนไม้ : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

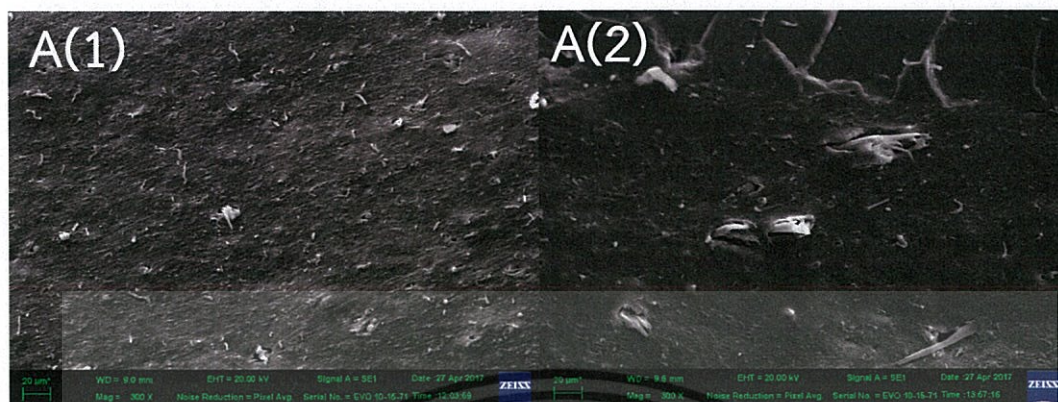


รูปที่ 4.47 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแนว Machine Direction (MD) : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222)



รูปที่ 4.48 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแนว Transverse Direction (TD) : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222)

ส่วนฐานฐานวิทยา พบว่าเส้นใยเคฟลาร์มีการยึดติดกับวัฏภาคของยางได้ไม่ดี บริเวณพื้นผิวของยางยังคงมีรูพรุน แสดงได้ดังรูปที่ 4.49



รูปที่ 4.49 ฐานฐานวิทยาของยางถนอขนไก่ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยเคฟลาร์ A(1) : K02, A(2) : K02SP10 (กำลังขยาย 300 เท่า)

การเสริมแรงยางถนอขนไก่ด้วยเส้นใยจากใบสับปะรด

4.4 ผลของปริมาณเส้นใยจากใบสับปะรดที่มีต่อสมบัติของยางถนอขนไก่

เส้นใยจากใบสับปะรด เป็นหนึ่งในเส้นใยธรรมชาติที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก จากงานวิจัย [24] กล่าวว่าเส้นใยมีสมบัติเชิงกลค่อนข้างสูง คือค่ามอดุลัสและความแข็งแรงสูง งานวิจัยนี้จึงได้เลือกเส้นใยจากใบสับปะรดมาเป็นเส้นใยเสริมแรง โดยทำการปรับเปลี่ยนปริมาณเส้นใยที่ใส่ลงในสูตรยางถนอขนไก่เพื่อหาปริมาณเส้นใยที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเสริมแรง ดังนั้นในการทดลองในตอนี้ 4.4 จึงทำการเปรียบเทียบปริมาณเส้นใยที่ 0 2 4 6 8 10 20 และ 30 phr

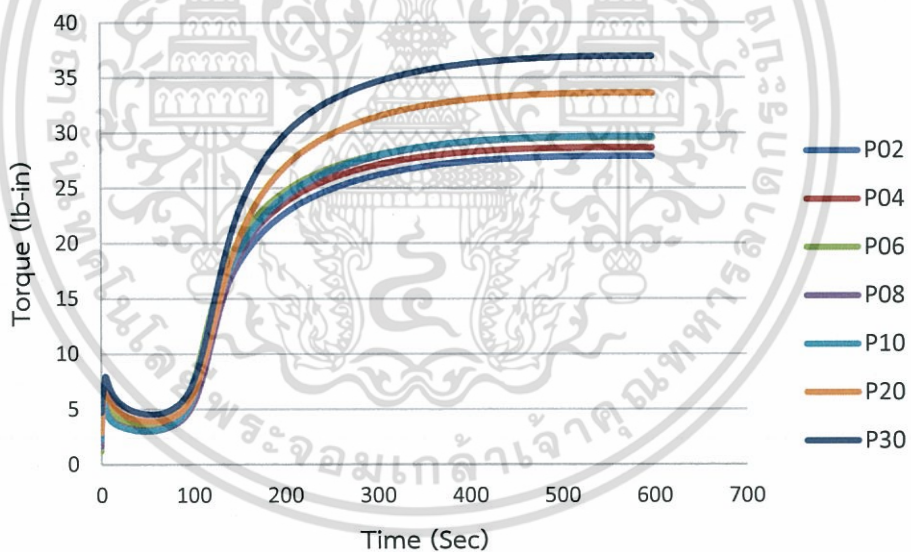
4.4.1 การศึกษาพฤติกรรมการเชื่อมโยงยาง

จากรูปที่ 4.50 และตารางที่ 4.7 เห็นได้ว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเส้นใยจากใบสับปะรด จาก 0 ถึง 30 phr เห็นได้ว่าค่าความหนืดมูนนี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าแรงบิดต่ำสุด เนื่องจากในการเพิ่มปริมาณเส้นใยเป็นการขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่ของยาง ทำให้มีความหนืดสูงจึงเกิดการไหลได้ยาก ค่าความหนืดมูนนี้จึงเพิ่มขึ้น ส่วนค่า Scorch time, Cure time และ Cure rate index ไม่ได้มีความแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความหนืดมุนีและพฤติกรรมการเชื่อมโยง : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใย

Samples	Mooney (ML (1+4 100 °C))	M _L (lbf.in)	M _H (lbf.in)	t _{s2} (min)	t _{c90} (min)	CRI (min ⁻¹)
P00	27.1	2.4	32.6	1.3	4.3	33.6
P02	32.6	3.5	32.1	1.3	4.3	34.1
P04	35.3	3.7	33.1	1.3	4.2	35.0
P06	37.8	4.2	34.1	1.3	4.2	34.8
P08	38.4	3.5	34.2	1.4	4.3	34.6
P10	40.8	3.5	34.2	1.3	4.2	34.7
P20	42.0	4.5	38.8	1.4	4.3	33.9
P30	42.6	5.2	42.4	1.3	4.3	33.9



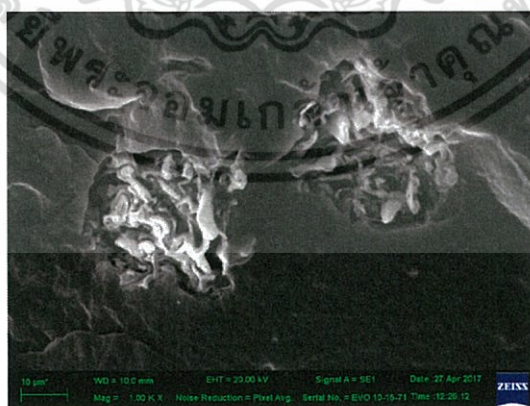
รูปที่ 4.50 กราฟการเชื่อมโยงของยางถอนขนไก่ : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยจากใบสับปะรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

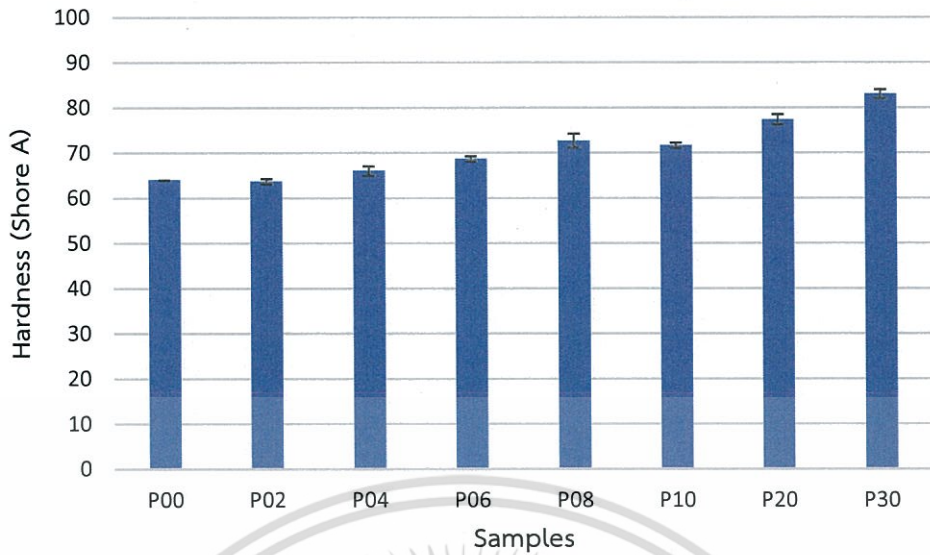
4.4.2 การศึกษาสมบัติเชิงกล

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของการเสริมแรงด้วยเส้นใยจากใบสับปะรด ในปริมาณ 0-30 phr เกิดประสิทธิภาพการเสริมแรงที่ดี กล่าวคือ จากรูปที่ 4.52 และ 4.55 ค่าความแข็งกตและค่ามอดุลัสของยางที่ 10 และ 100% มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าความแข็งกตเพิ่มขึ้นประมาณ 20 Shore A (จาก 64 เป็น 83) และมอดุลัสของยางที่ 10% เพิ่มขึ้นประมาณ 15 เท่า (จาก 0.70 เป็น 11.63 MPa) แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณจะทำให้ยางมีความแข็งเพิ่มมากขึ้น แต่ถ้าหากพิจารณาค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด และความต้านทานการขาด มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งผลที่ได้จะคล้ายกับกรณีของเส้นใยเคพลาร์ คือ เนื่องจากเส้นใยจากใบสับปะรดมีความแข็ง (Modulus) และความแข็งแรง (Strength) สูงกว่ายาง การเพิ่มเส้นใยในยาง ทำให้ความแข็งของของผสมสูงขึ้น รวมไปถึงแรงยึดเกาะระหว่างภูมิภาคของเส้นใยและภูมิภาคของยางที่ไม่ดี เนื่องจากเส้นใยเป็นเส้นใยเสริมแรงชนิดมีขี้ แต่ยางไม่มีขี้ ทำให้เกิดจุดบกพร่อง (Defects) ระหว่างรอยต่อบริเวณภูมิภาค ส่งผลให้เมื่อได้รับแรงกระทำจากภายนอกจึงไม่สามารถส่งผ่านแรงได้ โดยเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยในยางถอนขนไก่ พบว่าเส้นใยกระจายตัวได้ไม่ดี และทำให้เกิดจุดบกพร่องเพิ่มมากขึ้น แสดงได้ดังรูปที่ 4.51

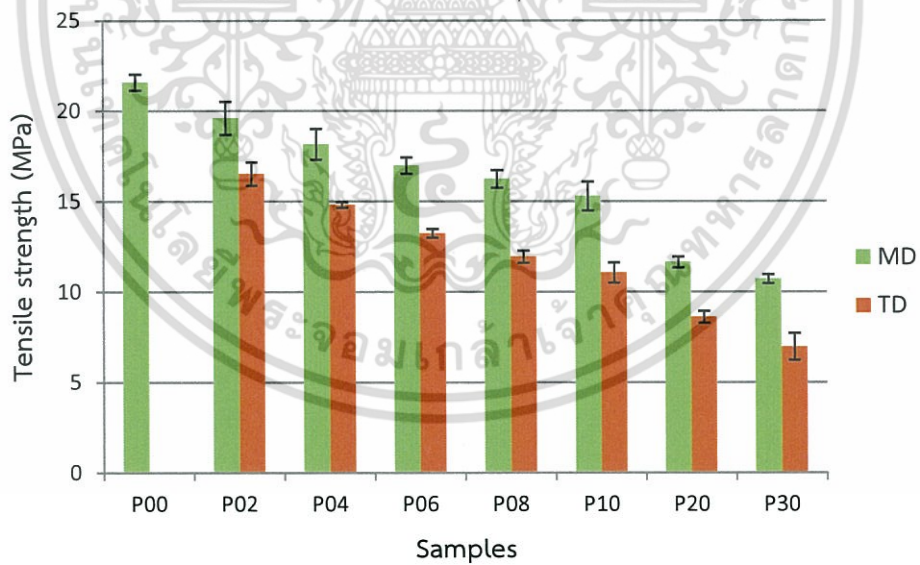
ส่วนค่าความแข็งแรงฉีกขาดที่มีค่าสูงสุดที่ 2 phr จากนั้นจึงมีแรงแนวโน้มลดลง เพราะเมื่อเส้นใยมีปริมาณเพิ่มขึ้น ในการทดสอบการดึงจึงคล้ายกับการดึงเส้นใยแทนการดึงยาง ส่งผลให้ความแข็งแรงในการฉีกขาดมีค่าลดลง ดังเหตุผลที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น แสดงได้ดังรูปที่ 4.57



รูปที่ 4.51 สัณฐานวิทยาของยางถอนขนไก่ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากใบสับปะรดที่เกิดจุดบกพร่อง (กำลังขยาย 1000 เท่า)

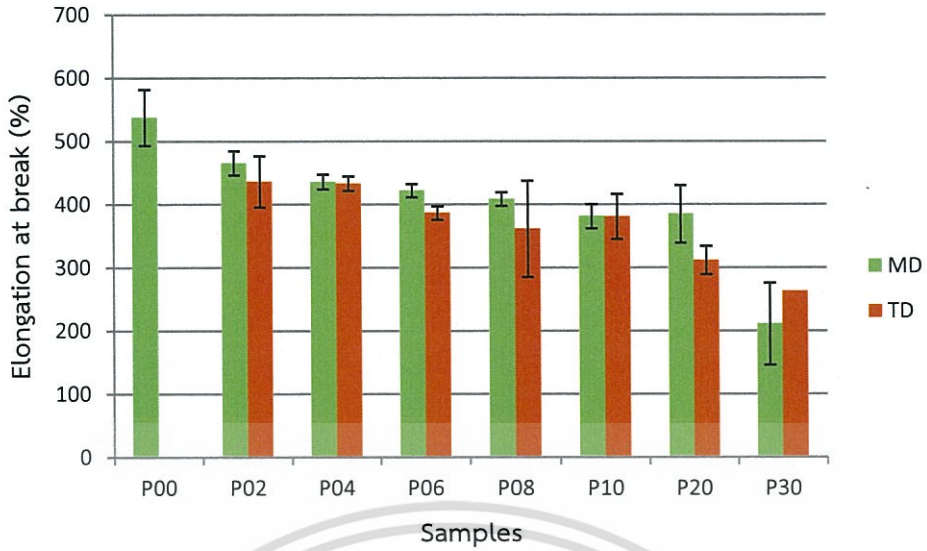


รูปที่ 4.52 ค่าความแข็งกดของยางถอนขนไก่ : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยจากใบสับปะรด

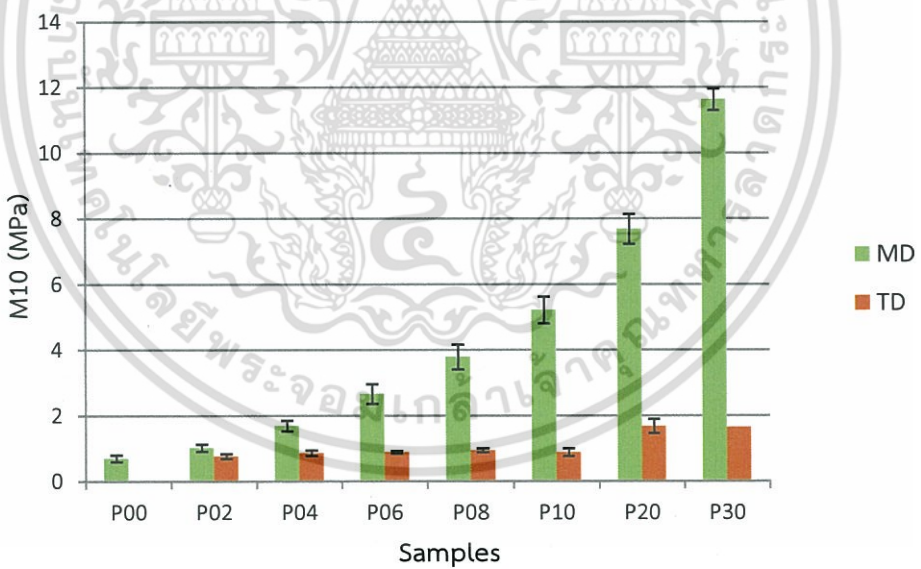


รูปที่ 4.53 ค่าความแข็งแรงดึงของยางถอนขนไก่ : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยจากใบสับปะรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

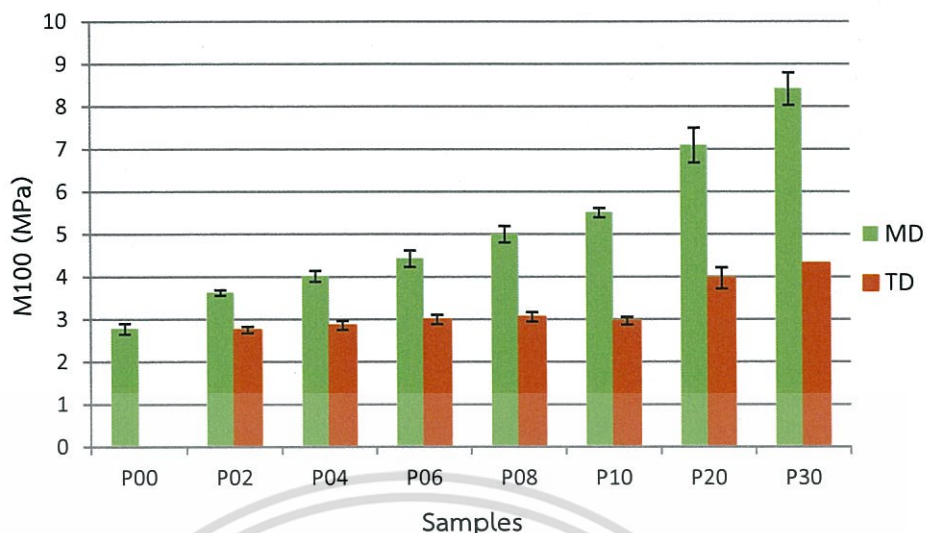


รูปที่ 4.54 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของยางถอนขนไก่ : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยจากใบสับปะรด

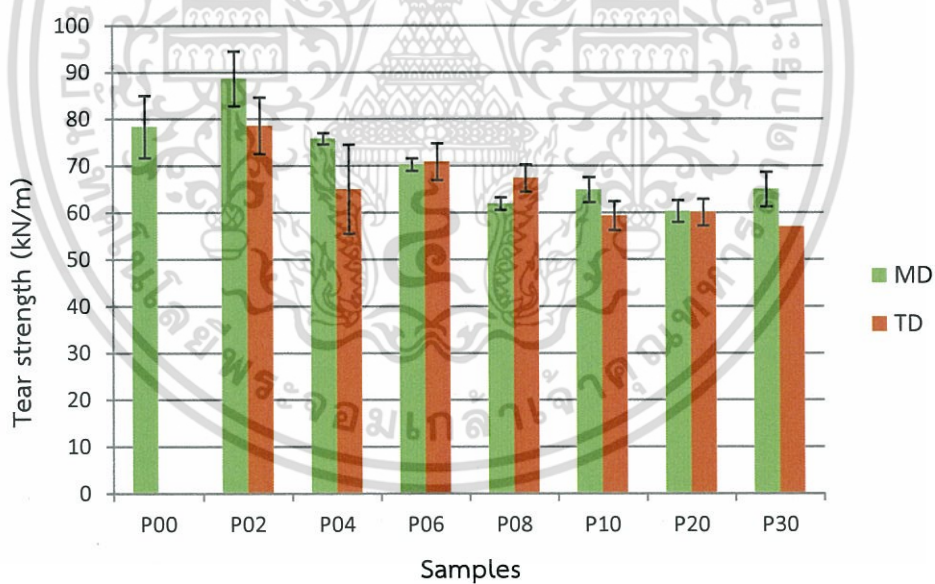


รูปที่ 4.55 มอดุลัสของยางที่ 10 เปอร์เซ็นต์ของยางถอนขนไก่ : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยจากใบสับปะรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

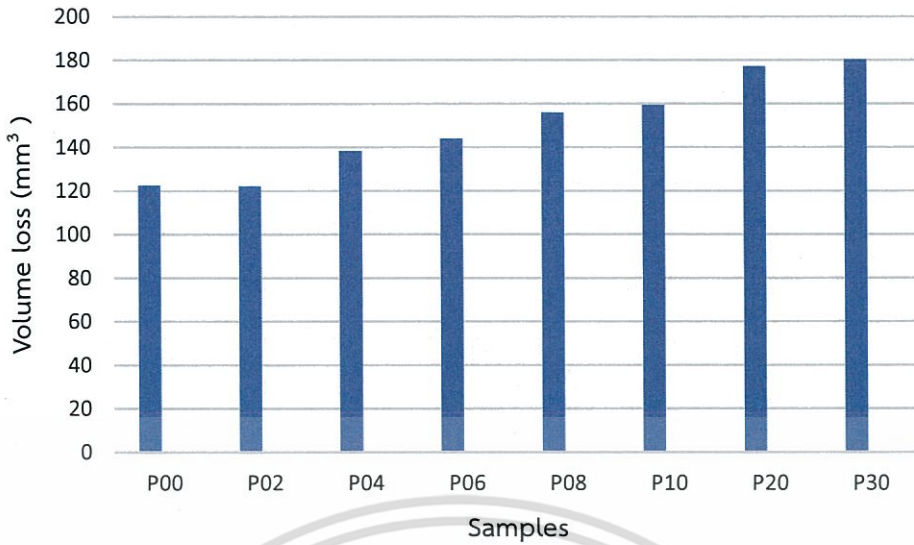


รูปที่ 4.56 มอดุลัสของยางที่ 100 เปอร์เซ็นต์ของยางถอนขนไก่ : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยจากใบสับปะรด

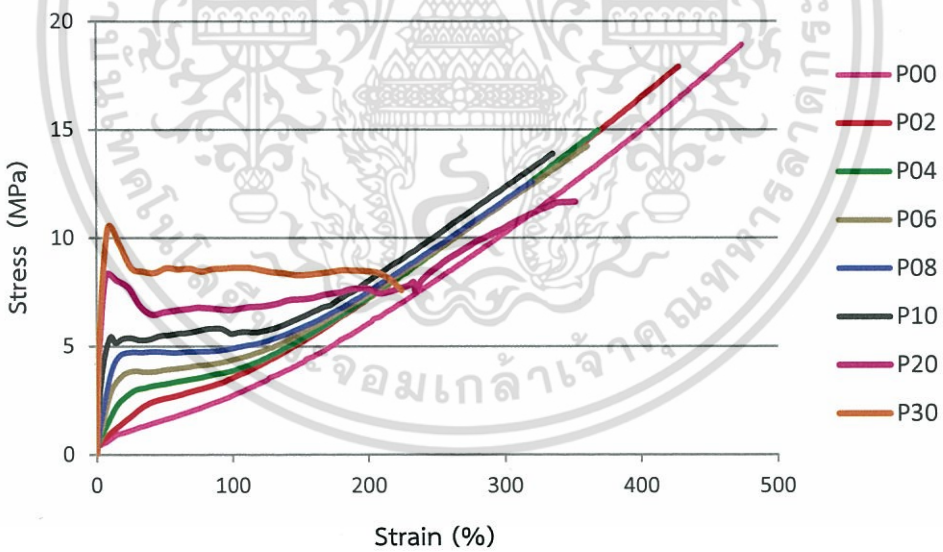


รูปที่ 4.57 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของยางถอนขนไก่ : ผลของการเพิ่มปริมาณเส้นใยจากใบสับปะรด

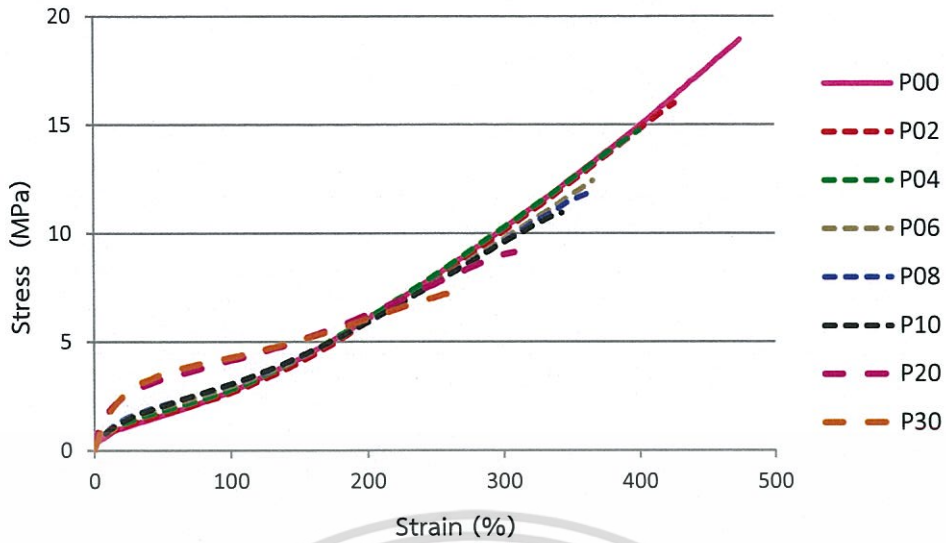
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.58 ค่าความต้านทานการขีดถูของยางถอนขนไก่ : ผลของการเพิ่มปริมาณเส้นใยจากใบสับปะรด



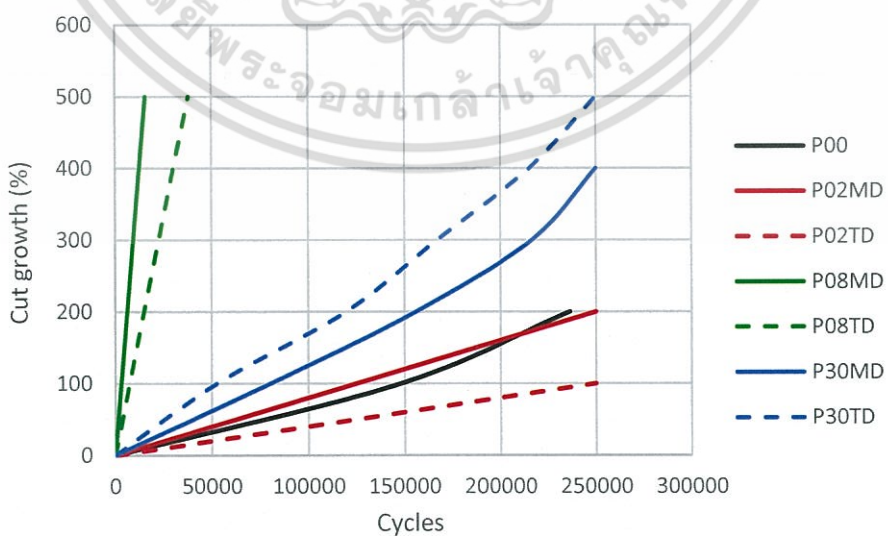
รูปที่ 4.59 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแนว Machine Direction (MD) : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยจากใบสับปะรด



รูปที่ 4.60 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแนว Transverse Direction (TD) : ผลการเพิ่มปริมาณเส้นใยเคฟลาร์

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบการต้านทานการหักงอ (Flex Cracking)

No.	Sample	Parameter	Result (Cycles)	
			MD	TD
1.	P00	Crack growth	740,000	
2.	P02		32,000	110,000
3.	P30		3,000	3,000



รูปที่ 4.61 แสดงผลการทดสอบการต้านทานการหักงอ (Ross Flex)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบการต้านทานการหักงอของยางสูตรที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยจากใบสับปะรด ได้ใช้หลักการในการเลือกสูตรเพื่อเป็นตัวแทนในการทดสอบ เช่นเดียวกับการเสริมแรงด้วยเส้นใยเคฟลาร์ คือ ใช้ค่ามอดุลัสของยางที่ 10 เปอร์เซนต์ และค่าความแข็งแรงฉีกขาด เป็นปัจจัยในการตัดสินใจ โดยสูตรที่ได้จากการเลือกตามหลักการดังกล่าว คือ สูตรยางถนนชนไก่ที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยจากใบสับปะรด 2 และ 30 phr (P02 และ P30 ตามลำดับ)

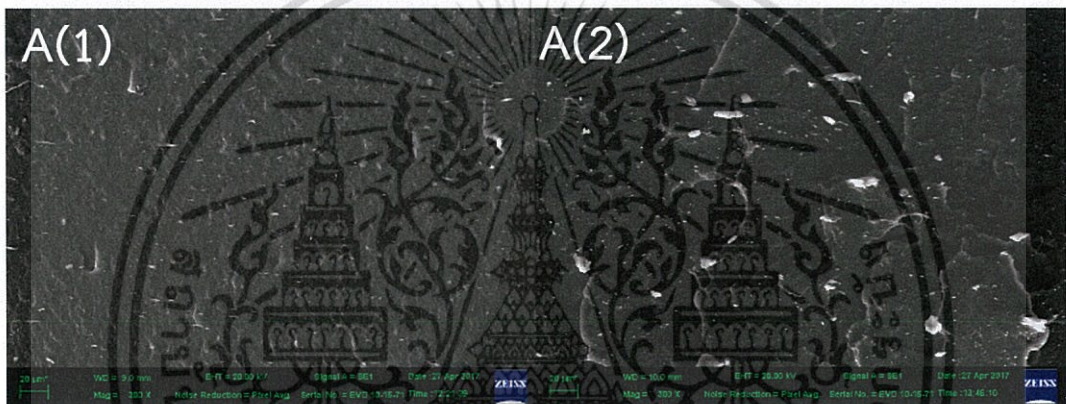
จากตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบการต้านทานการหักงอ (Flex Cracking) พบว่าสูตรยางถนนชนไก่ที่ไม่มีการใส่เส้นใยเคฟลาร์ (K00) มีจำนวนรอบในการพับงอสูงสุด รองลงมา คือ สูตรที่มีการเติมเส้นใยที่ปริมาณ 2 phr (P02) และ 30 phr (P30) ตามลำดับ และจากรูปที่ 4.61 กราฟแสดงผลการทดสอบการต้านทานการหักงอ (Ross Flex) โดยพล็อตระหว่างเปอร์เซ็นต์การขยายตัวของรอยแตก (Cut growth) และจำนวนรอบการพับงอ (Cycles) ซึ่งค่าความชันที่ได้ คือ อัตราการขยายตัวของรอยแตก พบว่าสูตร P02 มีความชันน้อยที่สุด แสดงว่าสามารถต้านทานการหักงอได้สูงที่สุด รองลงมา คือ P00 และ P30 ตามลำดับ โดยคาดการณ์ว่า สูตร P02 อาจจะมีการเสริมแรงด้วยเส้นใยในปริมาณที่เหมาะสม และมีการกระจายตัวที่ดี จึงมีค่าการต้านทานการหักงอสูงกว่าสูตร P00 ส่วนสูตร P30 มีค่าการต้านทานการหักงอต่ำที่สุด ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่ามีการเสริมแรงด้วยเส้นใยในปริมาณที่มากเกินไป ซึ่งคล้ายกับกรณีของการเสริมแรงด้วยเส้นใยเคฟลาร์

4.4.3 การศึกษาสัณฐานวิทยา

จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของยางถนนชนไก่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากใบสับปะรด ที่กำลังขยาย 300 เท่า จากรูปที่ 4.62 ยางถนนชนไก่ที่มีการเติมเส้นใย 2 และ 30 phr พบว่าเส้นใยจากใบสับปะรดมีการกระจายตัวที่แตกต่างกัน ซึ่งที่ปริมาณเส้นใย 30 phr มีการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนของเส้นใย ซึ่งจะเห็นได้ว่าสัณฐานวิทยาของเส้นใยจากใบสับปะรด มีการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนเช่นกัน แสดงได้ดังรูปที่ 4.63



รูปที่ 4.62 สัณฐานวิทยาของเส้นใยจากใบสับปะรด (กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า ตามลำดับ)



รูปที่ 4.63 สัณฐานวิทยาของยางถอนขนไก่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากใบสับปะรด A(1) : P02, A(2) : P30 (กำลังขยาย 300 เท่า)

4.5 ผลของสารช่วยกระจายตัวที่มีต่อการกระจายตัวของเส้นใยจากใบสับปะรด

- Struktol® WB 222

4.5.1 การศึกษาพฤติกรรมเชื่อมโยง

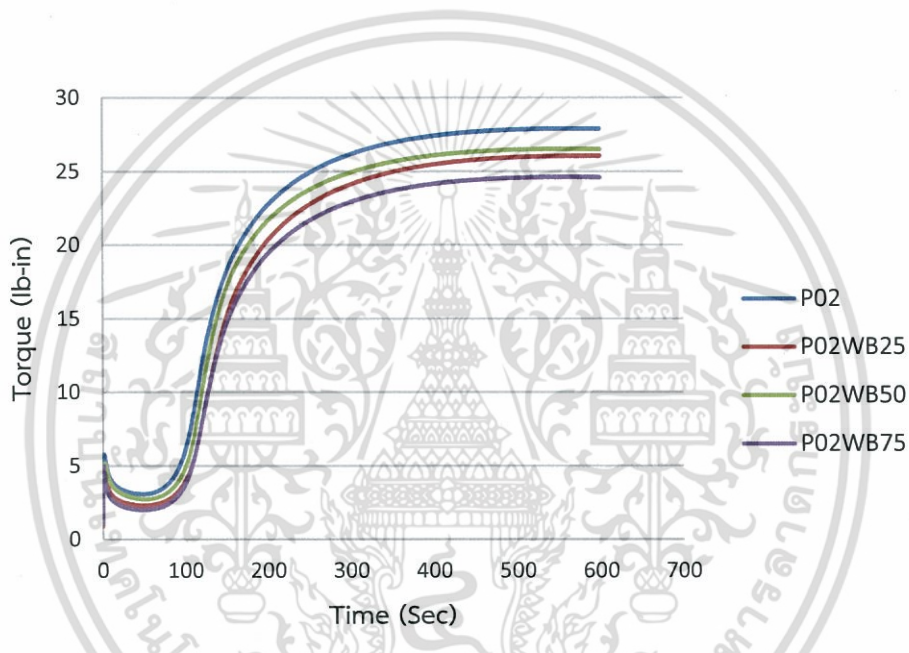
ในการทดลองนี้จึงทำการทดลองนี้จึงทำการศึกษาระช่วยกระจายตัว คือ Struktol® WB 222 กำหนดให้มีปริมาณ 0 25 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเส้นใย โดยควบคุมปริมาณเส้นใยเคพลาร์ 2 phr

จากรูปที่ 4.63 และตารางที่ 4.8 แสดงพฤติกรรมเชื่อมโยงของยาง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสูตรที่ไม่มีการใส่สารกระจายตัว (P02) และสูตรที่มีการใส่สารกระจายตัว พบว่า Scorch time, Cure time และ Cure rate index ไม่ได้มีความแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความหนืดมูนนี่และพฤติกรรมการเชื่อมโยง : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222)

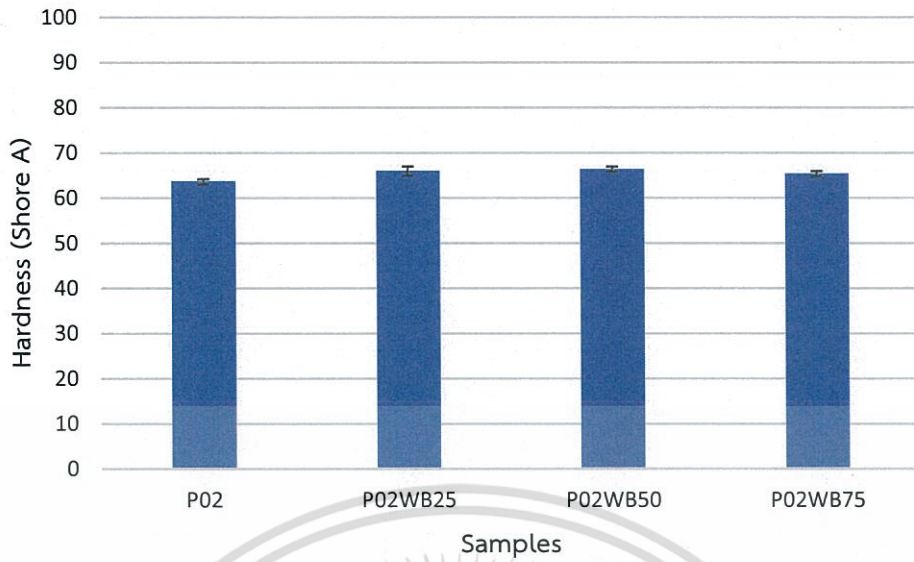
Samples	Mooney (ML (1+4 100 °C))	M _L (lbf.in)	M _H (lbf.in)	t _{s2} (s)	t _{c90} (s)	CRI (s ⁻¹)
P02	27.1	3.5	32.1	1.3	4.3	34.1
P02WB25	28.3	2.6	30.1	1.4	4.4	33.4
P02WB50	30.4	3.1	30.5	1.4	4.3	35.0
P02WB75	24.5	2.3	28.4	1.4	4.3	34.3



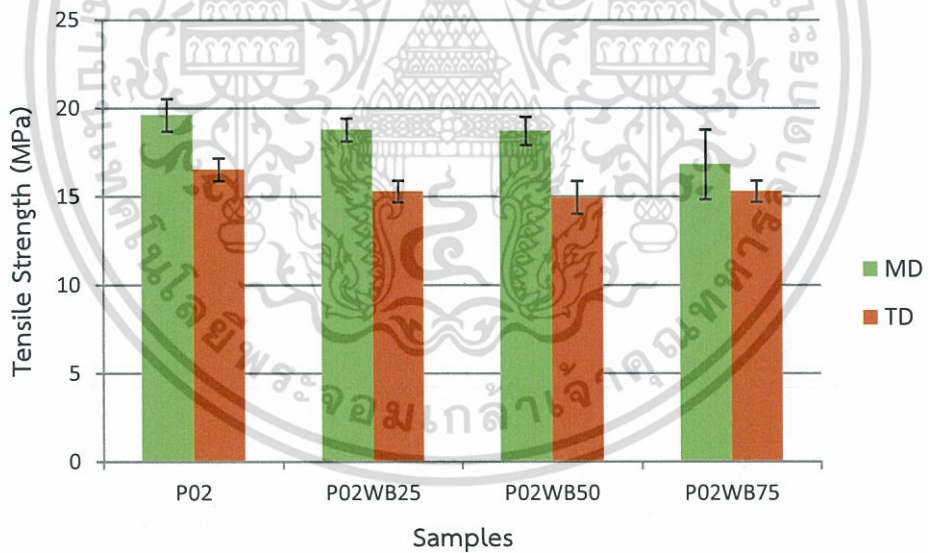
รูปที่ 4.64 กราฟการเชื่อมโยงยางอ่อนชนิด : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222)

4.5.2 การศึกษาสมบัติเชิงกล

จากรูปที่ 4.65-4.71 แสดงผลการทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าการใส่สารช่วยกระจายตัวในปริมาณที่แตกต่างกัน สมบัติเชิงกลไม่ได้แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเพราะสารช่วยกระจายตัวไม่สามารถแทรกเข้าไปในเส้นใยหรือไม่สามารถทำลายพันธะในโครงสร้างของเส้นใยได้ เพราะสารกระจายตัวอาจจะมีจุดหลอมเหลวสูงเกินไป ทำให้ไม่สามารถแตกตัวเป็นโมเลกุลที่เล็กพอ จึงไม่สามารถแทรกเข้าไปในโครงสร้างของเส้นใยได้ ซึ่งคล้ายกับกรณีการเสริมแรงด้วยเส้นใยเคฟลาร์

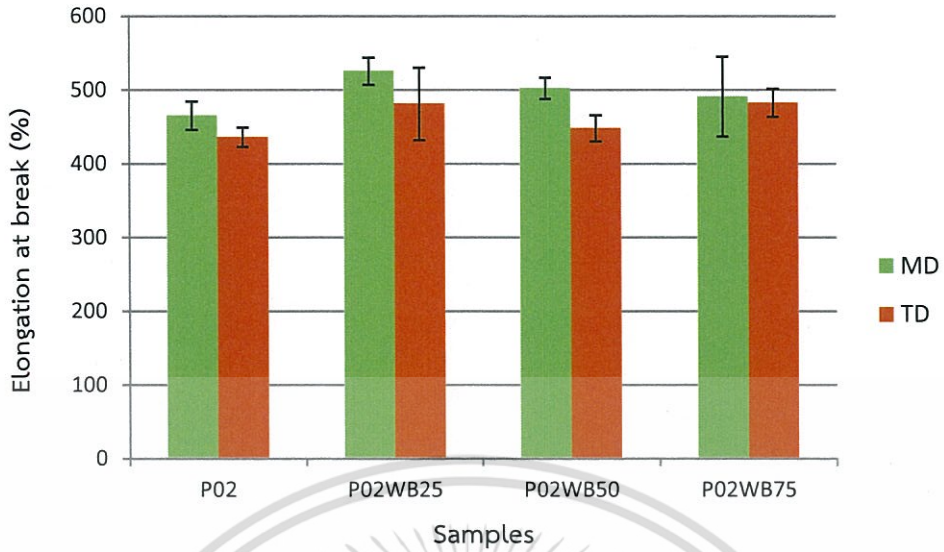


รูปที่ 4.65 ค่าความแข็งกดของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222)

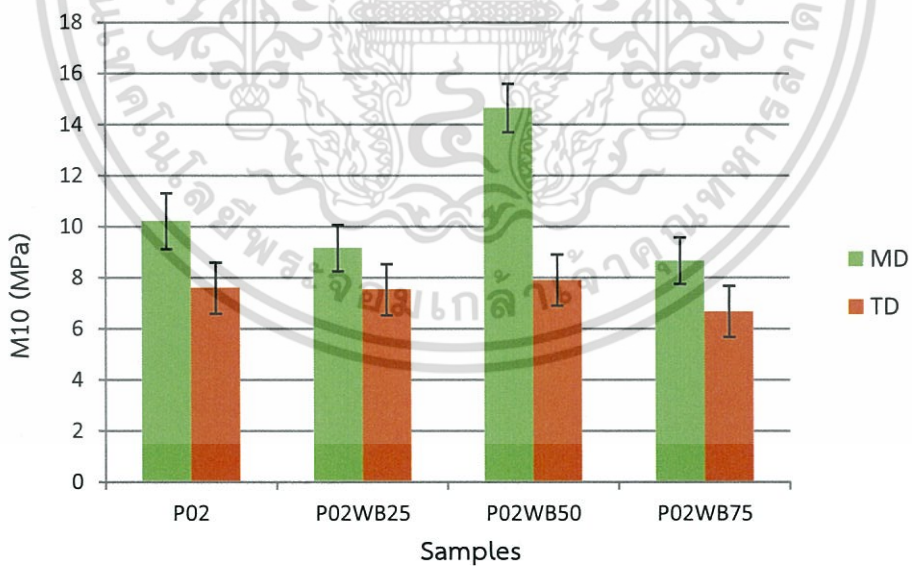


รูปที่ 4.66 ค่าความแข็งแรงดึงยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

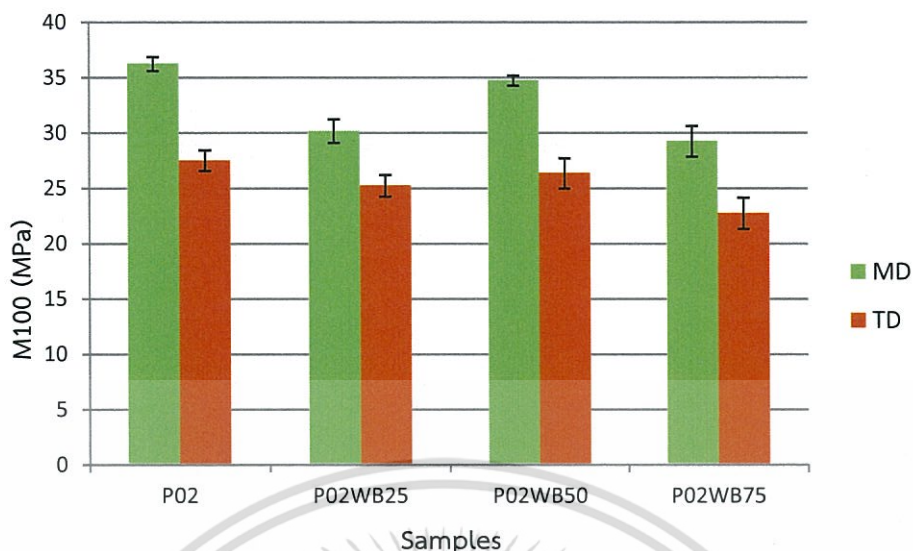


รูปที่ 4.67 เปอร์เซนต์การยืดตัว ณ จุดขาดของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222)

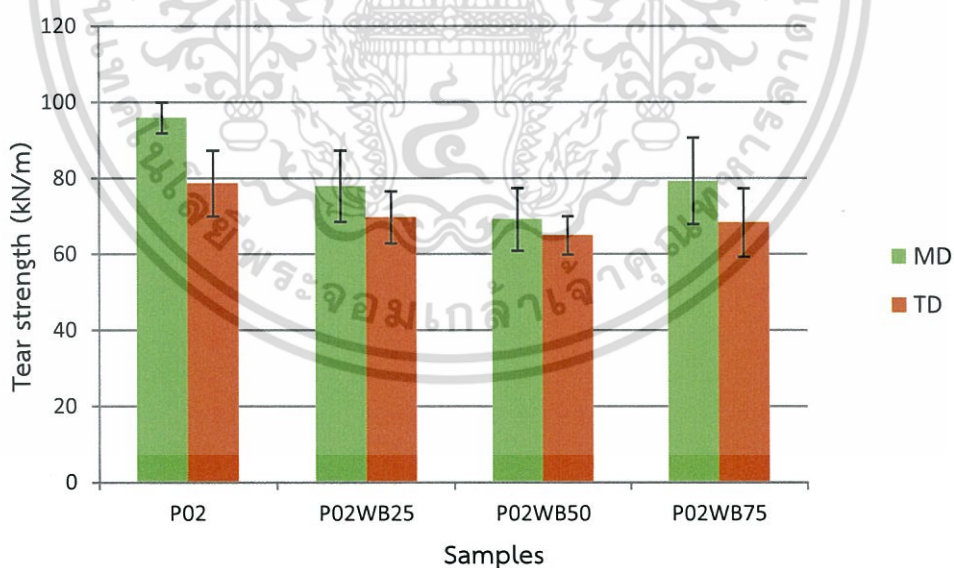


รูปที่ 4.68 มอดุลัสของยางที่ 10 เปอร์เซนต์ของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

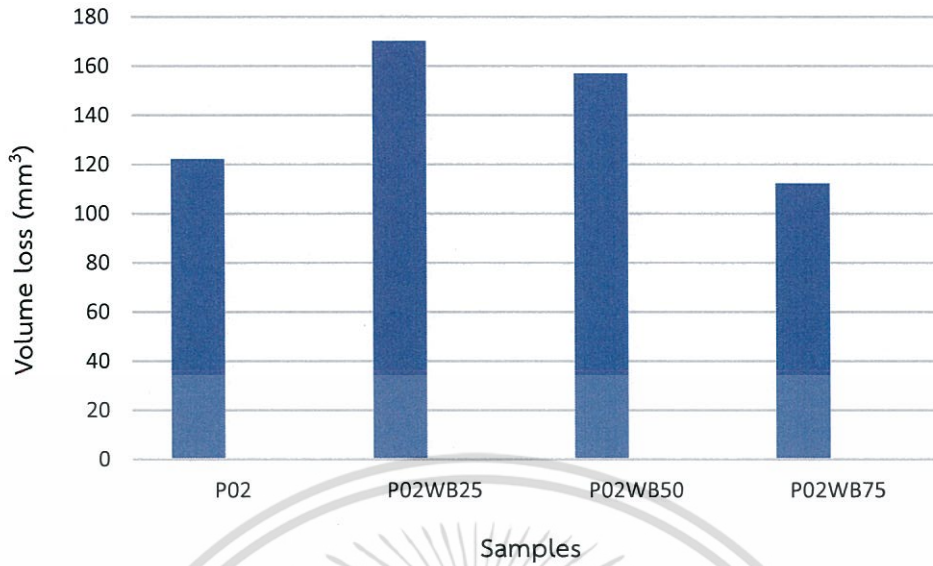


รูปที่ 4.69 มอดุลัสของยางที่ 100 เปอร์เซ็นต์ของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222)

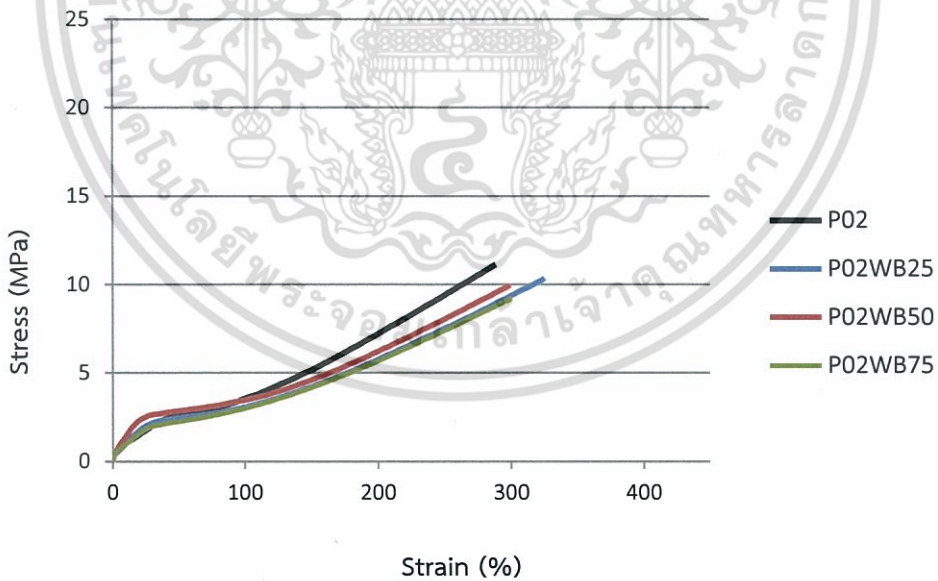


รูปที่ 4.70 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

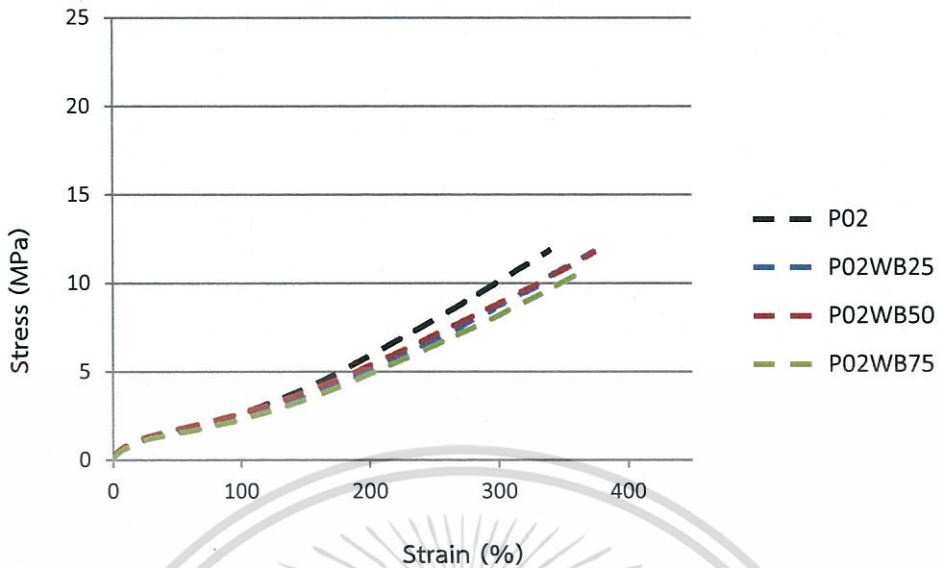


รูปที่ 4.71 ค่าความต้านทานการขีดถูของยางถนอขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222)



รูปที่ 4.72 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแนว Machine Direction (MD) : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.73 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแนว Transverse Direction (TD) : ผลของการใส่สารช่วยกระจายตัว (Struktol® WB 222)

- Ultralube® 250

4.5.3 การศึกษาพฤติกรรมการเชื่อมโยงและสมบัติเชิงกล

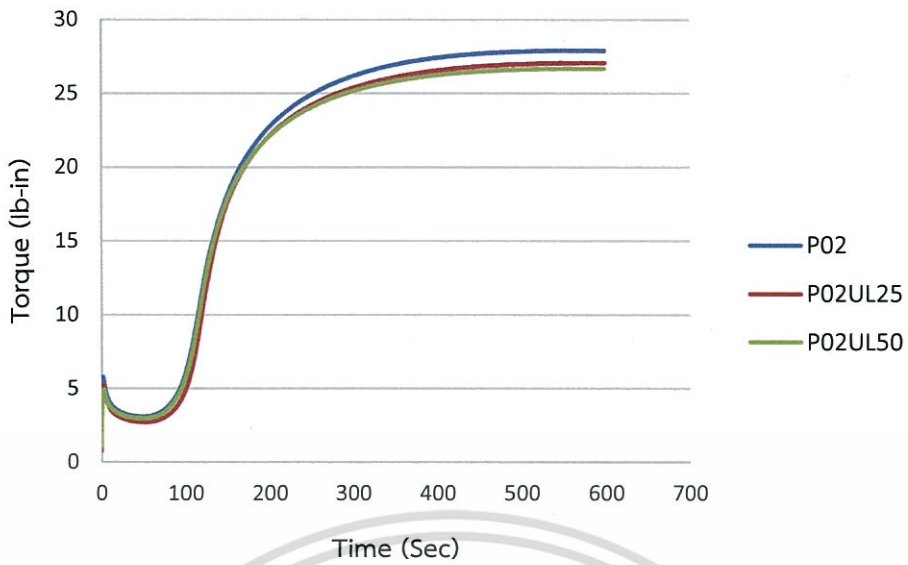
ในการทดลองนี้ทำการศึกษาสารช่วยกระจายตัว คือ Ultralube® 250 กำหนดให้มีปริมาณ 0 25 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเส้นใย โดยควบคุมปริมาณเส้นใยจากใบสับปรดที่ 2 phr

จากรูปที่ 4.74 และ ตารางที่ 4.10 พบว่า Scorch time, Cure time และ Cure rate index ไม่ได้แตกต่างกัน และจากรูปที่ 4.75-4.80 แสดงสมบัติเชิงกล จะเห็นได้ว่าการใส่สารช่วยกระจายไม่ได้ส่งผลให้สมบัติเชิงกลแตกต่างกัน

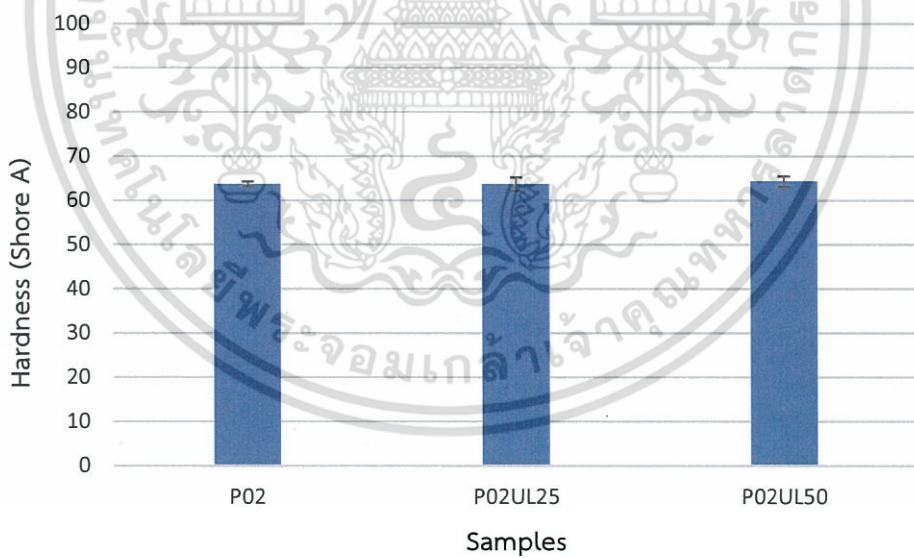
ตารางที่ 4.10 แสดงค่าความหนืดมูนนี่และพฤติกรรมการเชื่อมโยง : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250)

Samples	Mooney (ML (1+4 100 °C))	M _L (lbf.in)	M _H (lbf.in)	t _{s2} (min)	t _{c90} (min)	CRI (min ⁻¹)
P02	27.1	3.5	32.1	1.3	4.3	34.1
P02UL25	31.7	3.1	31.2	1.4	4.3	35.0
P02UL50	34.8	3.4	30.7	1.4	4.2	35.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

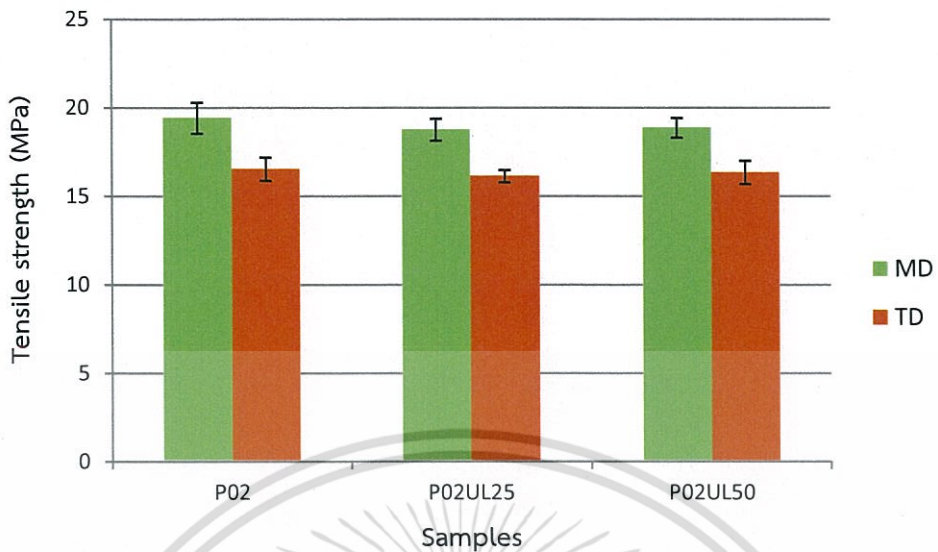


รูปที่ 4.74 กราฟการเชื่อมโยงของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250)

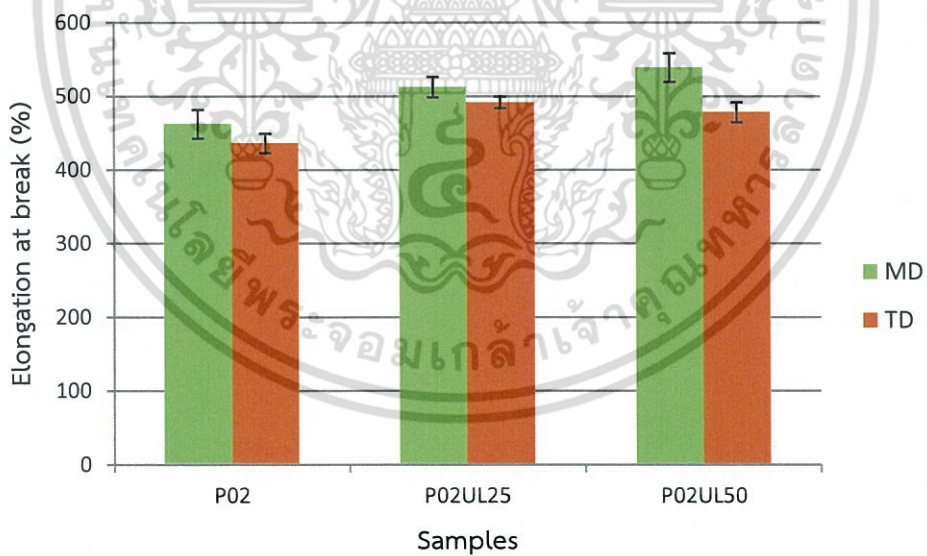


รูปที่ 4.75 ค่าความแข็งกดของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

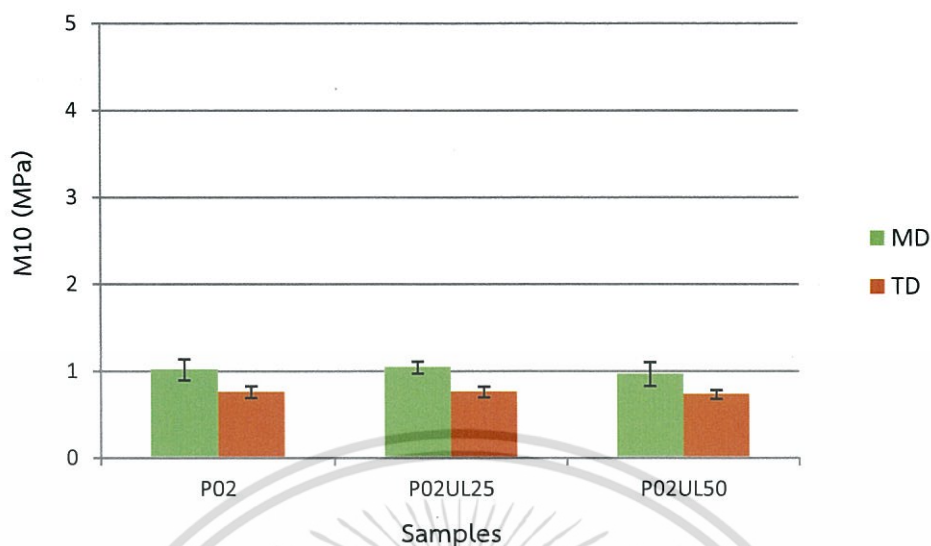


รูปที่ 4.76 ค่าความแข็งแรงดึงของยางถนอขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250)

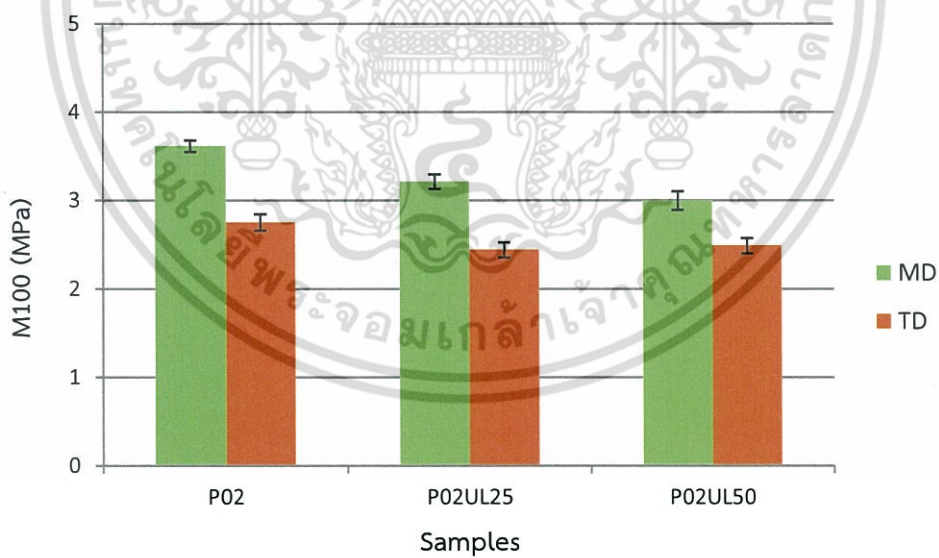


รูปที่ 4.77 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของยางถนอขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

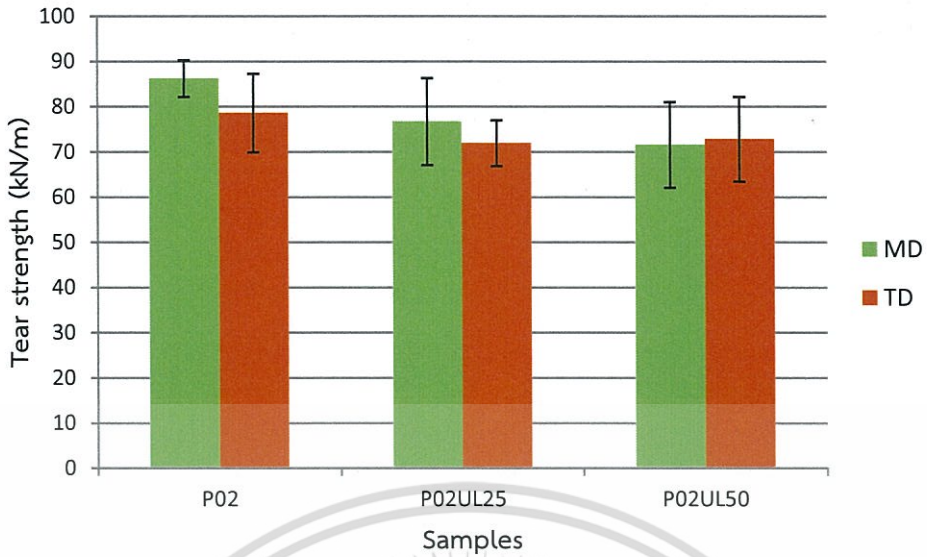


รูปที่ 4.78 มอดุลัสของยางที่ 10 เปอร์เซ็นต์ของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250)

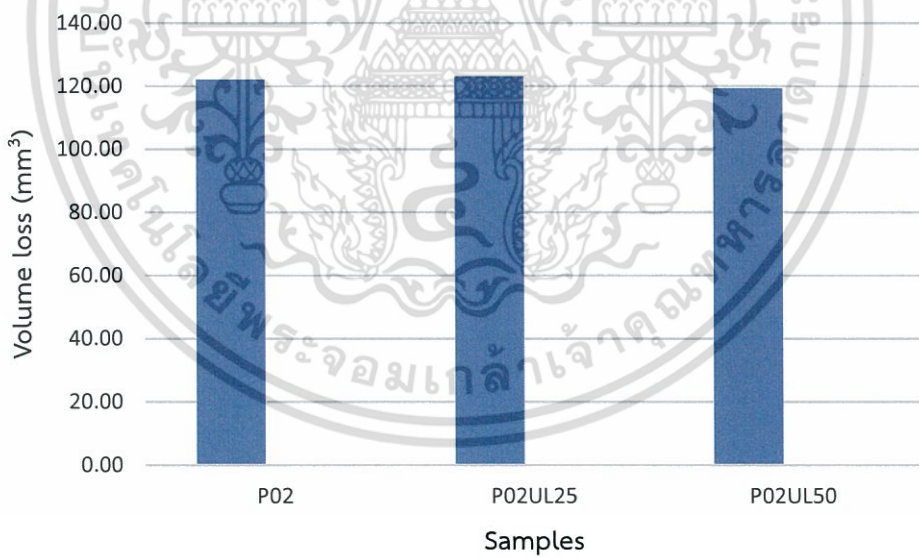


รูปที่ 4.79 มอดุลัสของยางที่ 100 เปอร์เซ็นต์ของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

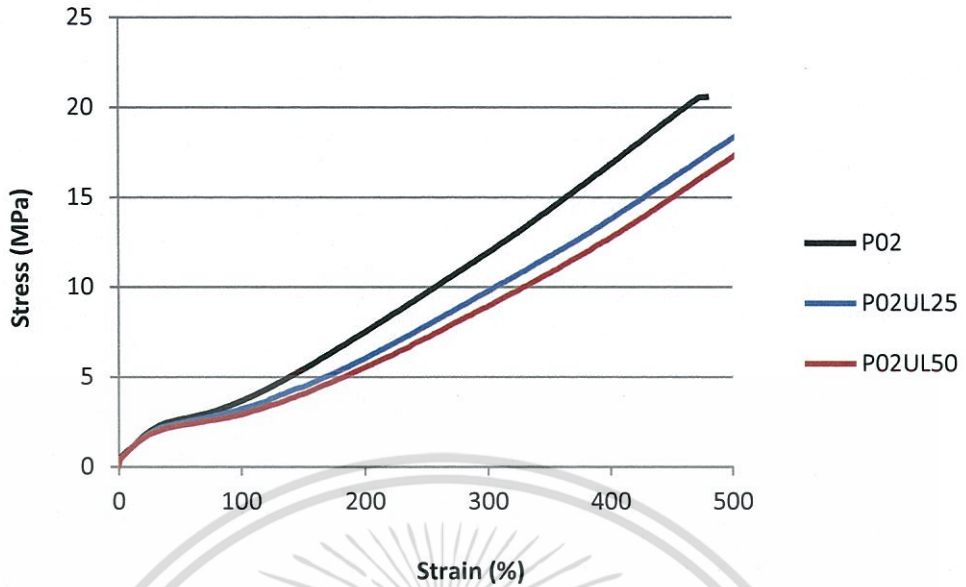


รูปที่ 4.80 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250)

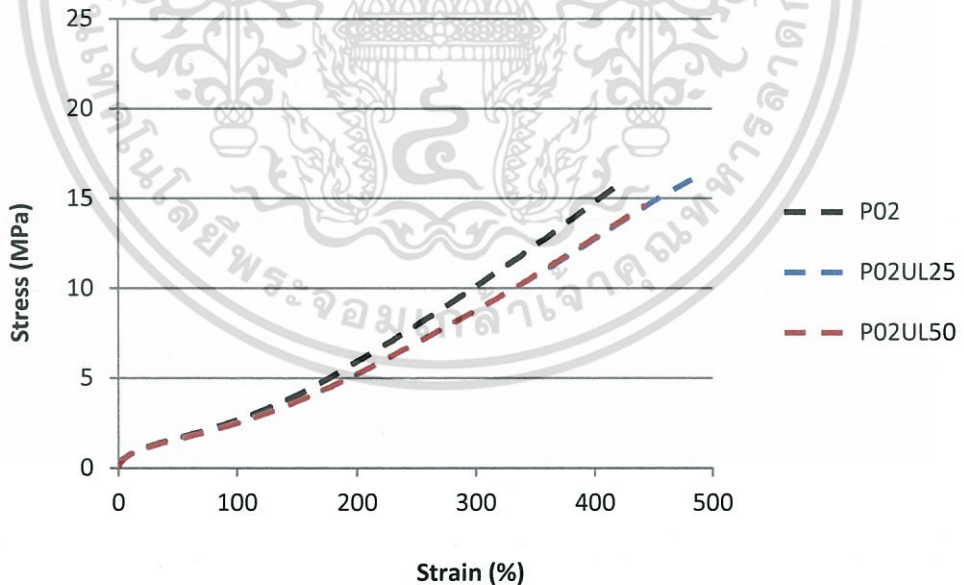


รูปที่ 4.81 ค่าความต้านทานการขัดถูของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.82 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแนว Machine Direction (MD) : ผลการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250)



รูปที่ 4.83 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแนว Transverse Direction (TD) : ผลของการใส่สารช่วยกระจายตัว (Ultralube® 250)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลของการใส่ฟีนอลิกเรซิน (Bakelite® PF 0222 SP 06; SP222)

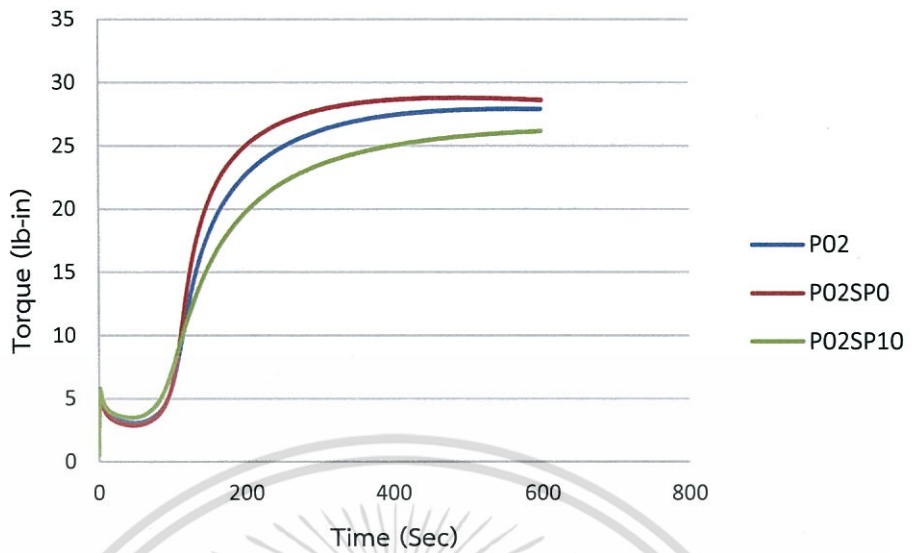
สำหรับการทดลองในตอนๆ 4.6 เป็นการใส่ฟีนอลิกเรซิน ในปริมาณที่แตกต่างกัน คือ 0 1.5 และ 10 phr (ปริมาณ SP222 1.5 phr คือ สูตร P02) โดยควบคุมปริมาณเส้นใยจาก ไบสับปะรดที่ 2 phr

จากรูปที่ 4.84 และตารางที่ 4.11 แสดงพฤติกรรมกรรมการเชื่อมโยงยาง พบว่าเมื่อมีการใส่ฟีนอลิกเรซิน ทำให้ Scorch time และ Cure time เพิ่มขึ้น ส่วน Cure rate index ลดลง เนื่องจาก SP222 ทำหน้าที่เป็นสารที่เป็นตัวช่วยเพิ่มการยึดติด (Tackifier) ซึ่งในโครงสร้างประกอบด้วยวงอะโรมาติกที่สามารถไปจับอนุมูลอิสระ (Free radical) ได้ จึงส่งผลให้การเชื่อมโยงยางลดลง

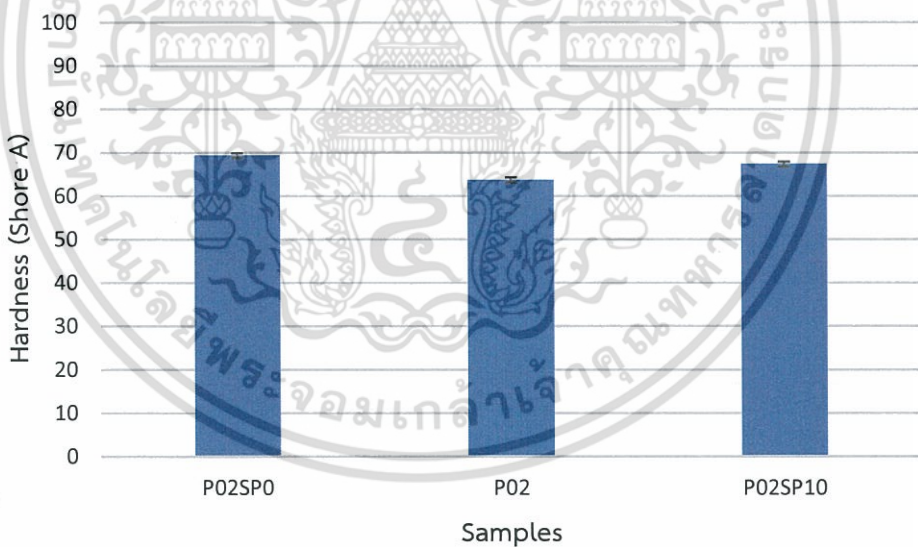
จากรูปที่ 4.84-4.91 แสดงสมบัติเชิงกล พบว่าการใส่ฟีนอลิกเรซินในปริมาณที่แตกต่างกัน ไม่ส่งผลให้สมบัติเชิงกลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจาก SP222 เป็นสารประกอบ Hexamethylenetetramine เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงจะแข็งตัว ซึ่งในการที่เรซินไปเคลือบเส้นใย อาจทำให้เส้นใยเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ดังนั้นการใช้ SP222 ในปริมาณที่แตกต่างกัน จึงไม่ส่งผลให้สมบัติต่างๆ แตกต่างกันอย่างใด ซึ่งคล้ายกับกรณีของการเสริมแรงด้วยเส้นใยเคพลาร์ แต่อย่างไรก็ตาม จากรูปที่ 4.88 เมื่อพิจารณาค่าความแข็งแรงฉีกขาด พบว่ามีค่าสูงสุดที่ปริมาณเส้นใย 2 phr ซึ่งมีปริมาณฟีนอลิกเรซิน 1.5 phr (P02)

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าความหนืดมูนีและพฤติกรรมกรรมการเชื่อมโยง : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222)

Samples	Mooney (ML (1+4 100 °C))	M _L (lbf.in)	M _H (lbf.in)	t _{s2} (s)	t _{c90} (s)	CRI (s ⁻¹)
P02SP0	32.6	3.3	33.2	1.3	3.5	46.5
P02	27.1	3.5	32.1	1.3	4.3	34.1
P02SP10	39.7	4.00	30.2	1.3	5.2	25.5

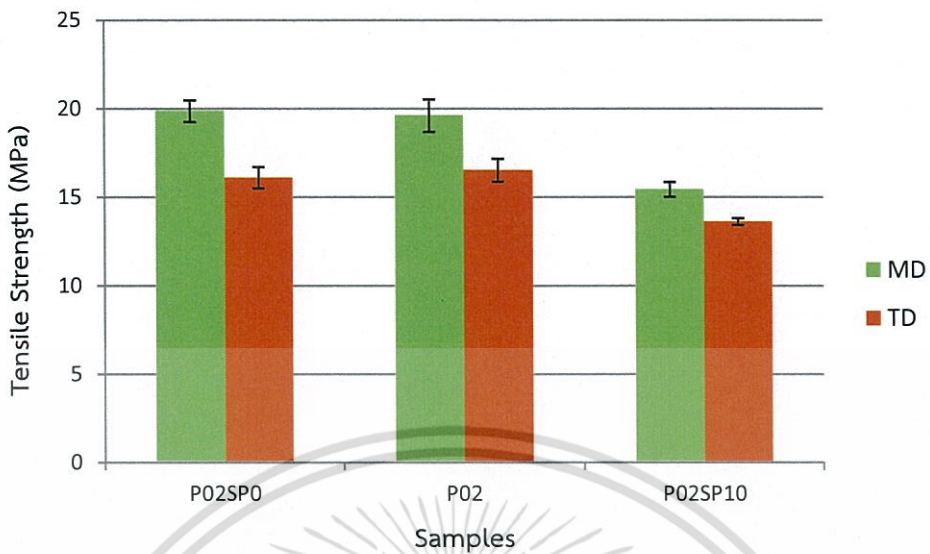


รูปที่ 4.84 กราฟการเชื่อมโยงของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222)

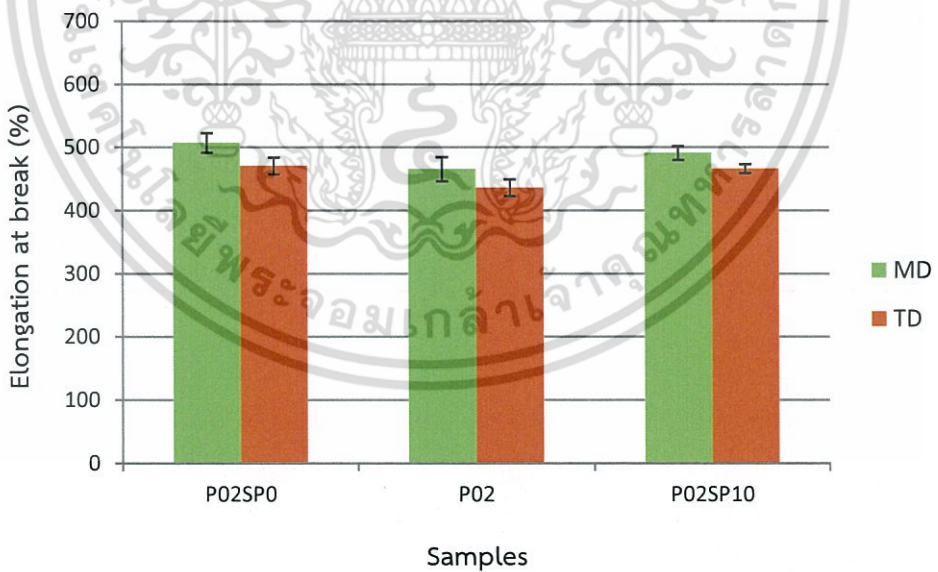


รูปที่ 4.85 ค่าความแข็งกดของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

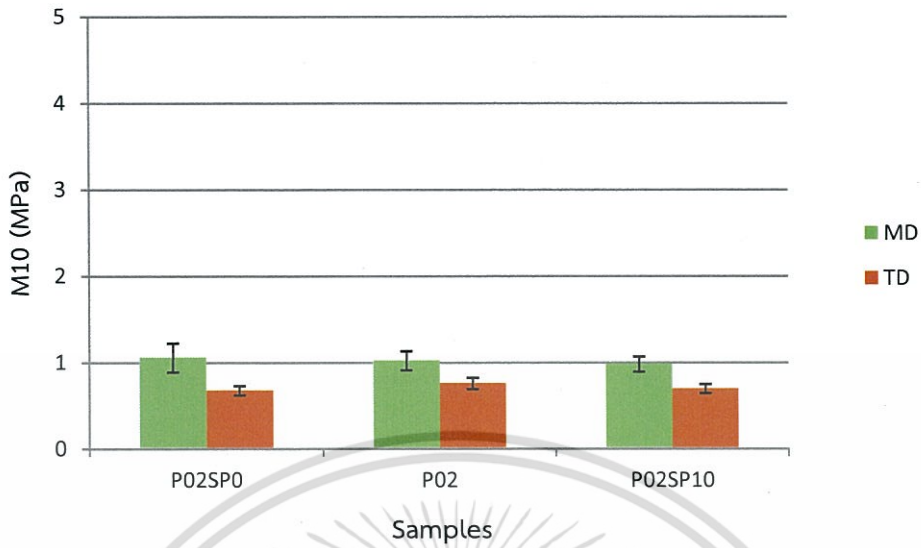


รูปที่ 4.86 ค่าความแข็งแรงดึงของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่พินอลิเกรซิน (SP222)

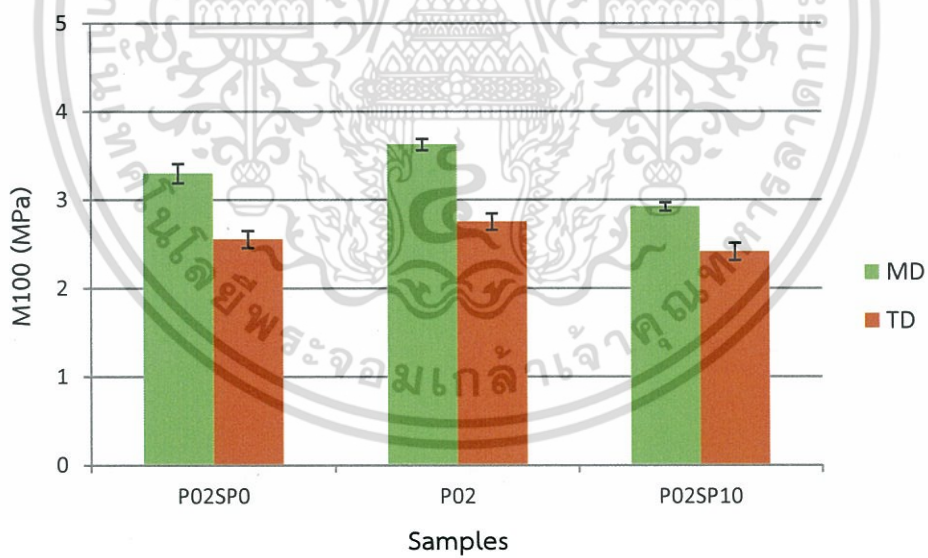


รูปที่ 4.87 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่พินอลิเกรซิน (SP222)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

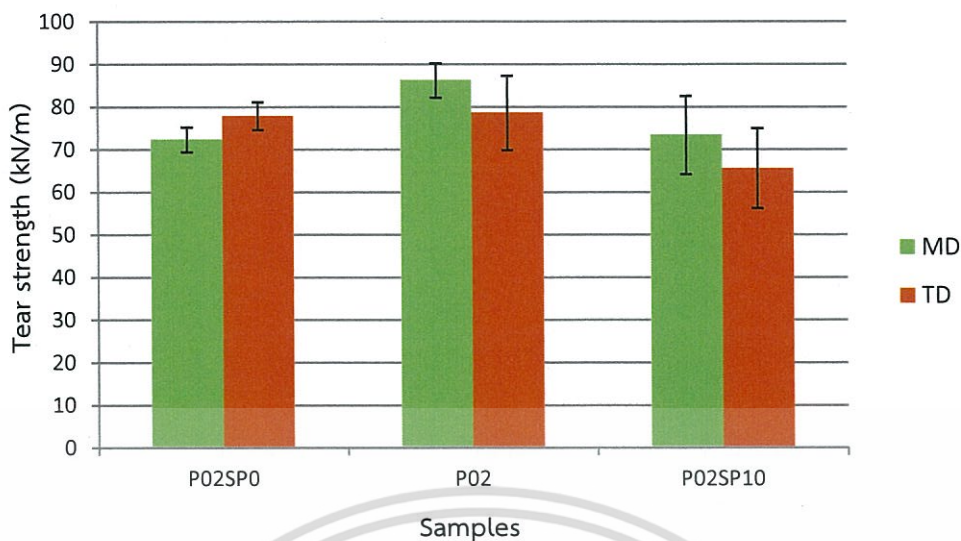


รูปที่ 4.88 มอดุลัสของยางที่ 10 เปอร์เซ็นต์ของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222)

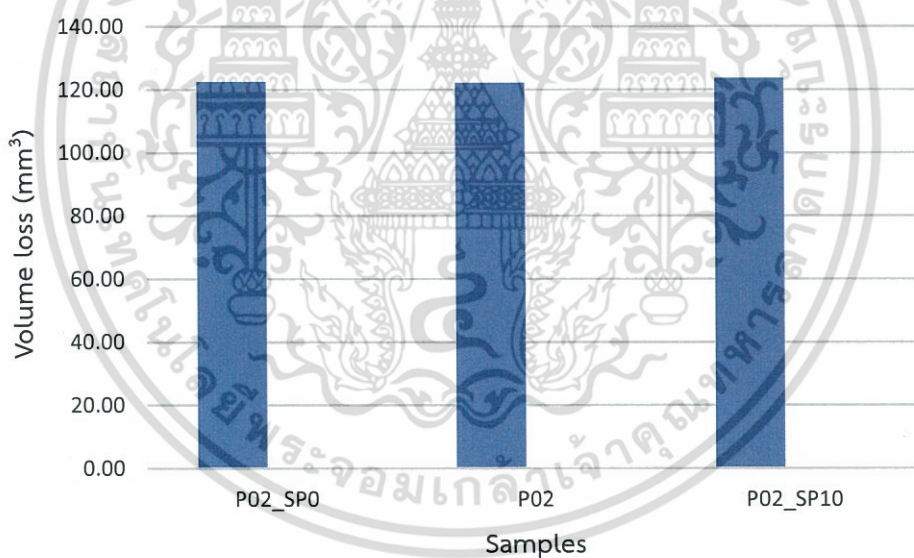


รูปที่ 4.89 มอดุลัสของยางที่ 100 เปอร์เซ็นต์ของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

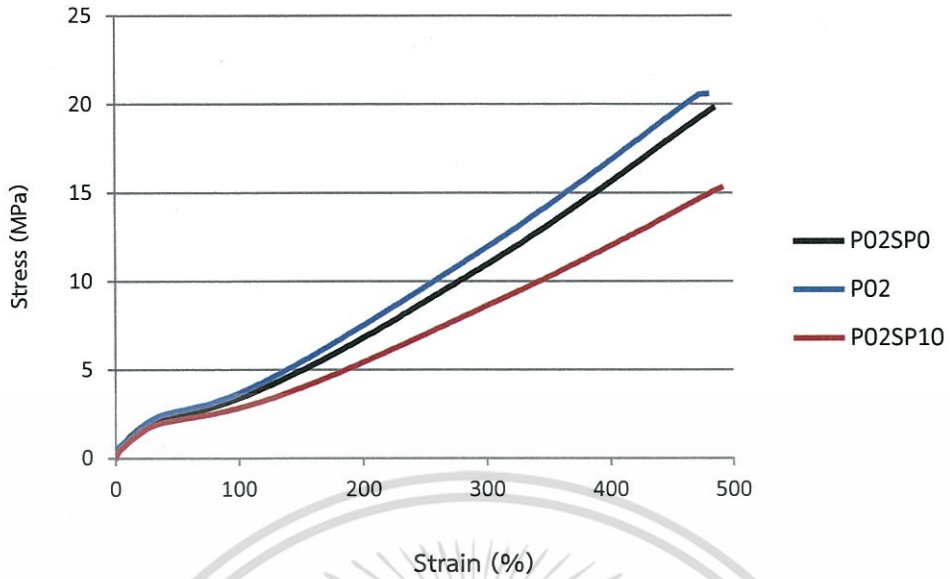


รูปที่ 4.90 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222)

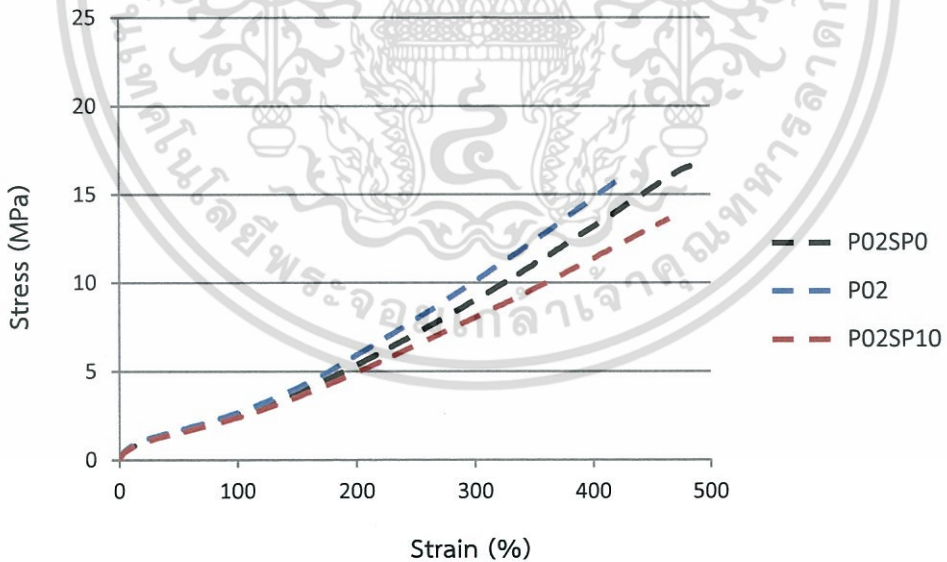


รูปที่ 4.91 ค่าความต้านทานการซัดถูของยางถอนขนไก่ : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.92 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแนว Machine Direction (MD) : ผลการใส่ฟีนอลิกเรซิน (SP222)



รูปที่ 4.93 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแนว Transverse Direction (TD) : ผลการใส่ Phenolic resin (SP222)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลบางประการตามมาตรฐานของยางถอนขนไก่

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบสมบัติเชิงกลบางประการตามมาตรฐานของยางถอนขนไก่

สมบัติเชิงกล	สูตร			
	Standard	Bench mark	K08	P02
1.Hardness (ShoreA)	60±5	62	74	64
2.Tensile strength (MPa)	ไม่น้อยกว่า 15	21.58	15.26	19.61
3.Elongation at break (%)	ไม่น้อยกว่า 400	537.28	388.80	465.27
4.Tear strength (kN/cm)	ไม่น้อยกว่า 100	78.39	74.31	88.62
5.Abrasion resistance (mm ³)	ไม่เกิน 180	122.45	162.14	122.01
6.Cut growth & crack growth (cycles)	ไม่น้อยกว่า 200,000	236,307	236,307	>250000

หมายเหตุ สูตร Standard คือ สูตรมาตรฐานยางถอนขนไก่ ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม (มอก.2666-2558)

สูตร Bench mark คือ สูตรมาตรฐานยางถอนขนไก่ของโรงงาน

สูตร K08 และ P02 คือ สูตรยางถอนขนไก่ที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยเคพลาร์ 8 phr และเสริมแรงด้วยเส้นใยจากใบสับปะรด 2 phr ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.12 ทางผู้วิจัยได้เลือกสูตรที่ดีที่สุดของการเสริมแรงในแต่ละเส้นใย โดยพิจารณาจากค่าการต้านทานการหักงอ (Ross flex) เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับสูตร Standard และสูตร Bench mark ของโรงงาน เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างสูตร Bench mark กับสูตร Standard พบว่าสูตร Bench mark ผ่านมาตรฐานสมบัติของยางถอนขนไก่ทุกสมบัติ ยกเว้นค่าความแข็งแรงฉีกขาด ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน และในกรณีของการเสริมแรงด้วยเส้นใยเคพลาร์ (K08) เมื่อทำการเปรียบเทียบกับสูตร Standard พบว่าสูตร K08 ผ่านมาตรฐานสมบัติของยางถอนขนไก่ทุกสมบัติ ยกเว้นเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด และความแข็งแรงฉีกขาด ส่วนกรณีการเสริมแรงด้วยเส้นใยจากใบสับปะรด (P02) พบว่าสูตร P02 ผ่านมาตรฐานสมบัติของยางถอนขนไก่ทุกสมบัติ ยกเว้นค่าความแข็งแรงฉีกขาด และมีค่าการต้านทานการหักงอที่สูงที่สุด

4.8 การวิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบ

การวิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบของยางถอนขนไก่ในสหกิจศึกษานี้ เพื่อศึกษาค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการผลิตยางถอนขนไก่ในแต่ละสูตรที่มีการใส่เส้นใยเป็นสารเสริมแรง เพื่อทำการเปรียบเทียบต้นทุนระหว่างสูตรที่ไม่มีการใส่เส้นใย และสูตรที่มีการใส่เส้นใยเคฟลาร์และเส้นใยจากใบสับปะรด ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกสูตรยางถอนขนไก่ที่มีสมบัติเชิงกลดีที่สุดของแต่ละเส้นใย มาพิจารณาต้นทุน

ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้ในการผลิตยางถอนขนไก่ในแต่ละสูตร

สูตรยางถอนขนไก่	ราคา (บาท/กิโลกรัม)
ยางถอนขนไก่สูตรที่ไม่มีการใส่เส้นใย	78.57
ยางถอนขนไก่สูตรที่มีการใส่เส้นใยเคฟลาร์ 8 phr	110.33
ยางถอนขนไก่สูตรที่มีการใส่เส้นใยจากใบสับปะรด 2 phr	91.35

จากตารางที่ 4.13 พบว่ายางถอนขนไก่สูตรที่ไม่มีการใส่เส้นใย มีต้นทุนต่ำสุด ถ้าหากเทียบกับสูตรที่มีการใส่เส้นใยเสริมแรง ส่วนสูตรที่มีการใส่เส้นใย จะมีราคาค่อนข้างสูง ตามสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น แต่เมื่อเทียบกับค่าการต้านทานการหักงอ ซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญสำหรับการใช้งานยางถอนขนไก่ ในกรณีของการเสริมแรงด้วยเส้นใยเคฟลาร์ ที่มีราคาต้นทุนในการผลิตค่อนข้างสูง แต่สมบัติการต้านทานการหักงอกลับต่ำกว่าสูตรที่ไม่มีการใส่เส้นใย และในกรณีของการเสริมแรงด้วยเส้นใยจากใบสับปะรด จะเห็นได้ว่าราคาต้นทุนจะต่ำกว่าสูตรที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยเคฟลาร์ ในขณะที่สมบัติการต้านทานการหักงอสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่มีการใส่เส้นใยและสูตรที่มีการใส่เส้นใยเคฟลาร์

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเสริมแรงในยางถอนขนไก่ด้วยเส้นใยสั้น ซึ่งได้แก่ เส้นใยเคพลาร์ และเส้นใยจากใบสับปะรด โดยทำการศึกษาผลของชนิดและปริมาณเส้นใย (0-10 phr สำหรับเส้นใยเคพลาร์ และ 0-30 phr สำหรับเส้นใยจากใบสับปะรด), ผลของชนิด (STRUKTOL® WB 222 และ Ultralube® 250) และปริมาณสารช่วยกระจายตัว (0 25 50 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเส้นใย) ที่มีผลต่อการกระจายตัวของเส้นใยในยางถอนขนไก่ รวมไปถึงผลของปริมาณฟีนอลิกเรซิน (Bakelite® PF 0222 SP 06; SP222) ที่มีต่อสมบัติเชิงกลและสัญญาณวิทยา ในการทดลองสามารถสรุปผลการวิจัยได้ ดังนี้

- ผลของชนิดและปริมาณเส้นใยที่มีต่อพฤติกรรม การเชื่อมโยง สมบัติเชิงกล และสัญญาณวิทยา

ในการศึกษาการเสริมแรงยางถอนขนไก่ด้วยเส้นใยเคพลาร์ พบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ ค่าความหนืดมูนนี้ เวลาการเชื่อมโยงยาง ค่าความแข็งแรง และมอดุลัสของยางที่ 10 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้น และมีค่าสูงสุดที่ปริมาณเส้นใย 8 phr จากนั้นมีค่าลดลงที่ปริมาณเส้นใย 10 phr ค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด และค่าความต้านทานการขีดถู มีแนวโน้มลดลง โดยผลการทดสอบสมบัติเชิงกลโดยรวม พบว่า ค่าที่ได้จากการทดสอบในแนว MD มีค่าสูงกว่าแนว TD ผลการทดสอบการต้านทานการหักงอ (Ross flex และ Flex cracking) พบว่ายางถอนขนไก่สูตรที่ไม่มีการใส่เส้นใย มีค่าสูงสุด รองลงมา คือ 8 และ 2 phr ตามลำดับ แต่ถ้าหากเปรียบเทียบที่ปริมาณเส้นใยเท่ากัน การเรียงตัวของเส้นใยในแนว TD มีค่าการต้านทานการหักงอสูงกว่าแนว MD

ในการศึกษาการเสริมแรงยางถอนขนไก่ด้วยเส้นใยจากใบสับปะรด พบว่าเมื่อทำการเพิ่มปริมาณเส้นใย ส่งผลให้ค่าความหนืดมูนนี้เพิ่มขึ้น แต่เวลาในการเชื่อมโยงไม่แตกต่างกัน ค่าความแข็งแรง และมอดุลัสของยางที่ 10 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่วนค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด และค่าความต้านทานการขีดถู มีแนวโน้มลดลง ส่วนผลการทดสอบการต้านทานการหักงอ (Flex cracking) พบว่ายางถอนขนไก่สูตรที่ไม่มีการใส่เส้นใย มีค่าสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รองลงมา คือ 2 และ 30 phr ตามลำดับ ส่วนค่า Ross flex พบว่าสูตรที่มีการใส่เส้นใย 2 phr มีค่าสูงที่สุด รองลงมา คือ 0 และ 30 phr ตามลำดับ

- ผลของชนิดและปริมาณสารช่วยกระจายตัวที่มีต่อการกระจายตัวของเส้นใย

จากการทดลองพบว่า การใช้สารช่วยกระจายตัวในปริมาณต่างๆ เพื่อกระจายตัวเส้นใยทั้ง 2 ชนิด ไม่ได้ส่งผลให้พฤติกรรมการเชื่อมโยงยางและสมบัติเชิงกลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และถ้าหากพิจารณาถึงสัญญาณวิทยาจะเห็นได้ว่า เมื่อทำการใส่สารช่วยกระจายตัว ส่งผลให้เส้นใยสามารถกระจายตัวเพิ่มขึ้นในภูมิภาคของยางได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

- ผลของปริมาณฟีนอลิก เรซินที่มีต่อสมบัติเชิงกลและสัญญาณวิทยา

จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของ SP222 จาก 0 phr เป็น 10 phr ส่งผลทำให้เวลาการเชื่อมโยงยางเพิ่มขึ้นและค่าความหนืดลดลง เนื่องจากยางเกิดการไหลได้ง่ายขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม SP222 ไม่ส่งผลให้สมบัติเชิงกลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า การใช้ฟีนอลิกเรซิน ในยางถอนขนไก่ที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใย ไม่ส่งผลให้สมบัติต่างๆดีขึ้นแต่อย่างใด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ปรับปรุงสูตรยางเพื่อเพิ่มการกระจายตัวของเส้นใย โดยอาจจะใช้สารช่วยกระจายตัวที่มีโมเลกุลเล็กๆ เพื่อให้เกิดอันตรกิริยาที่ดีกับเส้นใย ศึกษาการทดสอบสมบัติอื่นๆเพิ่มเติม เช่น การทดสอบการทนต่อแรงเสียดทาน รวมไปถึงศึกษาการปรับความเป็นขั้วระหว่างยาง และเส้นใยให้เข้ากันในสูตรยางถอนขนไก่ โดยใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ (Compatibilizer) เช่น Resocinol
2. เปลี่ยนชนิดของเส้นใยที่มีความสามารถในการกระจายตัวในยางธรรมชาติได้ดีควรเป็นเส้นที่มีความนิ่ม ยืดตัวได้ ทำให้สามารถเพิ่มความทนทานในการพับงอได้ดี
3. หาวิธีการเพิ่มสมบัติของยางถอนขนไก่ด้วยวิธีอื่น เช่น การใช้ยางสังเคราะห์บางชนิด เช่น BR เกรด VCR ที่มีความสามารถในการต้านการขยายของรอยแตกได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. “มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่อง ยางถนนชนิด (มอก.2666-2558)”. [Online]. Available: http://rubber.oie.go.th/box/ELib_Document/2378
- [2] ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย. “ยางล้อรถยนต์ (Tyre)”. [Online]. Available: <http://www.rubbercenter.org/files/rtec/RTEC-tyre.pdf>
- [3] ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย และนันทยา เก่งเขตร์กิจ. “บทความรับเชิญ ใบสับปรด แหล่งเส้นใยธรรมชาติที่ไม่ควรมองข้าม” [Online]. Available: <http://www.thaiscience.info/journals/Article/SSCJ/10967028.pdf>
- [4] สุวดี ก้องพารากุล. 2556. “เทคโนโลยีการตัดแปรรยางธรรมชาติและการประยุกต์ใช้” : KRU Sci Journal 41(3) : 567-581
- [5] Research and Development Centre for Thai Rubber Industry. “ชนิดของยางและการใช้งาน”. [Online]. Available: <http://www.rubbercenter.org/files/technologys.pdf>
- [6] กลุ่มอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง. “ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์”. [Online]. Available: <http://rubberthai.com/yang/administrator/jour/98%20อุตสาหกรรมยาง.pdf> 2554.
- [7] ภัณฑิลา ภูมิระเบียบ. 2556. “สารเคมีสำหรับยาง”. โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ. กรุงเทพฯ
- [8] พจนพร ฮวบเจริญ, เอกชัย วิมลมาลา, ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ. 2557. “การปมสุกและสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติที่มีซิลิกาจากเถ้าชานอ้อย.” หน้า 64-69. ในการประชุมวิชาการระดับชาติ “วิทยาศาสตร์วิจัย” ครั้งที่ 6. ชลบุรี : มหาวิทยาลัยบูรพา
- [9] สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. 2553. “การใช้เส้นใยอะรามิดเพื่อการเสริมแรงของยาง.” [Online]. Available: http://www.en.rmutt.ac.th/prd/2013/High_Performance_Fibers.pdf
- [10] อภิชาติ สนธิสมบัติ. “เส้นใยสมรรถนะสูง.” [Online]. Available: http://www.ttcexpert.com/2012/Powerpoint/High_Performance_Fibers.pdf 2547.
- [11] อภิชาติ สนธิสมบัติ. “เส้นใยสังเคราะห์.” [Online]. Available: http://www.ttcexpert.com/2012/Powerpoint/Synthetic_fibers.pdf 2547.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] อุซารัตน์ รัตนค่านวน. วิทยาศาสตร์เส้นใยและผ้า. [Online]. Available: http://www.science.mju.ac.th/chemistry/download/u_ratanakamnuan/IC%20361%20วิทยาศาสตร์เส้นใยผ้า1-57.pdf 2557.
- [13] สุปราณี แก้วภิรมย์, ศิริเดช บุญแสง. 2557. “โครงการคอมโพสิตรีไซเคิลสิ่งแวดล้อมจากพอลิแลคติกแอซิดและเส้นใยจากใบสับปะรด.” โครงการวิจัยงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน), มหาวิทยาลัยบูรพา
- [14] Research and Development Centre for Thai Rubber Industry. 2548. คำศัพท์ด้านเทคโนโลยียาง. [Online]. Available: <http://www.rubbercenter.org/dictionary/index.php?char=M>.
- [15] บริษัท Sk polymer จำกัด. 2560. Technical data : Struktol® WB222.
- [16] บริษัท Sk polymer จำกัด. 2560. Technical data : Ultralube® 250.
- [17] พรพรรณ นิธิอุทัย, “เอกสารประกอบการอบรมเทคโนโลยียางระยะสั้น เรื่อง เทคนิคการออกสูตรยาง” 29 เมษายน ถึง 1 พฤษภาคม 2535, โรงแรมเอเชีย กรุงเทพฯ
- [18] พงษ์ธร แซ่ฮุย และ ชาคริต สิริสิงห์, “ยาง: กระบวนการผลิตและการทดสอบ”, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, พิมพ์ครั้งที่ 1 มิถุนายน 2550.
- [19] วราภรณ์ ขจรไชยกูล, “ผลิตภัณฑ์ยาง: กระบวนการผลิตและเทคโนโลยี”, สำนักงานกองทุนสนับสนุน การวิจัย, พิมพ์ครั้งที่ 2 กันยายน 2554.
- [20] ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย. กระบวนการผลิต. [Online]. Available: <http://www.rubbercenter.org/files/process.pdf>
- [21] ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. คู่มือให้บริการทดสอบผลิตภัณฑ์ยาง. [Online]. Available: http://www.sec.psu.ac.th/home/downloads/manual_rubber.pdf
- [22] Taweechai Amornsakchai, Sunan Saikrasun, Chakrit Sirisinha, Wiriya Meesiri and Sauvarop Bualerk-Limcharoen. 1999. “Kevlar reinforcement of polyolefin-based thermoplastic elastomer.” Polymer 40 : 6437-6442
- [23] Rongxian Ou, Hui Zhao, Shujuan Sui, Yongming Song and Qingwen Wang. 2010. “Reinforcing effects of Kevlar fiber on the mechanical properties of wood-flour/high-density-polyethylene composites.” Composite : Part A 41 : 1272-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
1278
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [24] Ukrit Wisittanawat , Sombat Thanawan and Taweechai Amornsakchai. 2014. “Mechanical properties of highly aligned short pineapple leaf fiber reinforced – Nitrile rubber composite: Effect of fiber content and Bonding Agent.” *Polymer Testing* 35 : 20–27
- [25] Maya Jacob, Sabu Thomas and K. T. Varughese. 2004. “Natural Rubber Composites Reinforced with Sisal/Oil Palm Hybrid Fibers: Tensile and Cure Characteristics .” *Applied Polymer Science* 93 : 2305–2312
- [26] T.D. Sreeja and S.K.N. Kuty. 2003. “Cure Characteristics and Mechanical Properties of Short Nylon Fiber Reinforced Natural Rubber-Reclaimed Rubber Blends.” *Polymer-Plastics Technology and Engineering* 42 : 239-252



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก-1 ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด (%Elongation at break),

Samples	Tensile Strength (MPa)		Elongation at break (%)	
	MD	TD	MD	TD
K00 (P00)	21.58±0.44		537.28±44.14	
K02	20.13±0.52	17.86±0.53	498.40±33.93	490.70±10.45
K04	18.64±0.31	15.66±0.33	444.14±17.25	451.49±10.03
K06	16.54±0.37	13.88±0.25	402.30±11.00	417.60±16.32
K08	15.26±0.34	12.99±0.25	388.80±10.59	430.57±30.20
K10	13.30±0.55	12.16±0.30	338.78±14.39	396.08±14.55
P02	19.61±0.91	16.53±0.65	465.27±19.07	436.06±13.06
P04	18.16±0.85	14.81±0.16	435.81±11.60	432.96±40.39
P06	16.98±0.45	13.23±0.24	421.61±10.43	386.52±11.42
P08	16.24±0.49	11.94±0.34	408.16±10.76	361.23±10.70
P10	15.29±0.80	11.06±0.56	381.01±19.01	380.66±75.86
P20	11.64±0.30	8.60±0.33	384.63±45.34	311.47±35.72
P30	10.71±0.25	6.96±0.75	210.64±64.73	262.54±22.30
K08WB25	14.83±0.63	12.85±0.32	385.96±18.42	436.66±10.45
K08WB50	14.33±0.39	12.49±0.36	370.63±15.49	444.72±7.12
K08WB75	14.21±0.32	12.38±0.60	412.17±36.45	437.58±13.84
K08WB100	13.49±0.57	12.24±0.29	394.89±29.49	484.33±45.54
K08UL25	15.53±0.78	13.51±0.36	398.35±24.46	420.28±9.97
K08UL50	15.67±0.25	12.94±0.24	402.28±9.22	409.51±7.81
K08UL75	15.04±0.38	12.28±0.42	397.40±16.91	418.06±25.57
K08UL100	14.65±0.64	12.13±0.32	421.33±34.61	418.24±14.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Samples	Tensile Strength (MPa)		Elongation at break (%)	
	MD	TD	MD	TD
P02WB25	18.77±0.64	15.29±0.60	525.51±18.40	481.20±49.10
P02WB50	18.72±0.80	14.95±0.93	502.45±14.49	448.18±17.77
P02WB75	16.81±1.97	15.29±0.60	490.94±54.11	482.43±18.97
P02UL25	18.77±0.61	16.14±0.34	512.36±14.10	491.39±7.78
P02UL50	18.86±0.56	16.34±0.66	538.84±19.50	478.17±13.54
K02SP0	20.80±0.29	18.04±0.43	538.05±14.21	520.23±6.46
K02 (SP1.5)	20.13±0.52	17.86±0.53	484.61±3.59	490.70±10.45
K02SP10	16.65±0.42	14.82±0.39	504.10±3.24	504.89±6.35
P02SP0	19.86±0.61	16.10±0.60	507.08±15.37	470.71±13.20
P02 (SP1.5)	19.61±0.91	16.53±0.65	465.27±19.07	436.06±13.06
P02SP10	15.44±0.42	13.62±0.20	490.67±10.95	466.24±7.20

ตารางที่ ก-2 มอดุลัสของยางที่ 10 และ 100 เปอร์เซ็นต์ และความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength)

Samples	M10 (MPa)		Tear strength (kN/cm)	
	MD	TD	MD	TD
K00 (P00)	0.70±0.10		75.48±7.96	
K02	1.51±0.26	0.80±0.17	92.38±5.92	90.79±7.63
K04	4.08±0.48	1.00±0.12	86.08±2.83	85.88±5.08
K06	4.75±0.66	0.92±0.13	85.41±5.54	76.96±5.24
K08	8.43±0.53	1.37±0.18	74.31±5.54	68.58±3.50
K10	6.87±0.49	1.30±0.40	61.39±4.60	71.45±5.35
P02	1.02±0.11	0.76±0.09	88.62±5.86	78.59±8.69
P04	1.69±0.16	0.86±0.08	75.80±1.20	65.01±6.01
P06	2.66±0.30	0.89±0.08	70.27±1.35	70.88±9.54
P08	3.78±0.38	0.94±0.04	61.88±1.35	67.38±3.97
P10	5.21±0.41	0.88±0.06	64.89±2.66	59.33±2.91
P20	7.68±0.46	1.67±0.12	60.29±2.33	60.05±3.11
P30	11.63±0.32	1.64±0.21	64.97±3.70	57.00±2.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Samples	M10 (MPa)		Tear strength (kN/cm)	
	MD	TD	MD	TD
K08WB25	7.77±0.07	1.22±0.13	77.10±5.51	68.11±3.78
K08WB50	7.41±0.82	1.03±0.07	64.30±2.29	71.00±3.82
K08WB75	6.89±0.81	1.34±0.14	71.39±4.07	66.35±0.81
K08WB100	6.63±0.47	1.40±0.16	63.46±3.02	66.49±2.10
K08UL25	5.07±0.56	1.44±0.29	87.05±3.69	74.84±0.99
K08UL50	6.13±0.55	1.56±0.23	79.33±4.57	71.86±8.82
K08UL75	6.35±0.24	1.32±0.22	80.24±2.91	67.15±2.49
K08UL100	5.82±0.68	1.25±0.16	62.34±1.33	68.36±9.59
P02WB25	0.92±0.09	0.75±0.09	77.89±9.39	69.69±6.84
P02WB50	1.46±0.09	0.79±0.12	69.16±8.23	64.91±5.03
P02WB75	0.87±0.09	0.67±0.13	79.23±11.36	68.28±9.02
P02UL25	1.04±0.07	0.76±0.06	76.66±9.61	71.92±5.07
P02UL50	0.97±0.14	0.73±0.05	71.57±9.46	72.83±9.36
K02SP0	1.62±0.27	0.65±0.06	86.99±1.90	80.69±6.27
K02 (SP1.5)	1.51±0.26	0.80±0.08	92.38±5.92	90.79±7.63
K02SP10	1.30±0.19	0.82±0.11	70.00±5.90	86.73±5.01
P02SP0	1.06±0.17	0.68±0.05	72.33±2.92	77.86±3.22
P02 (SP1.5)	1.02±0.11	0.76±0.06	86.20±4.05	78.59±8.69
P02SP10	0.98±0.09	0.70±0.05	73.37±9.19	65.53±9.34

ตารางที่ ก-3 ค่าความแข็งกด (Hardness) และค่าความต้านทานการขีดถู (Abrasion resistance)

Samples	Hardness (Shore A)	Abrasion resistance (mm ³)
K00 (P00)	62±0.00	122.45
K02	70±0.00	140.98
K04	73±0.57	148.73
K06	75±0.57	162.54
K08	74±2.00	162.14
K10	77±0.57	169.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P02	64±0.58	122.01
P04	66±1.00	138.28
P06	69±0.58	143.89
P08	73±1.53	155.85
P10	72±0.58	159.19
P20	77±1.15	177.01
P30	83±1.00	180.20
K08WB25	72±3.60	1564.93
K08WB50	73±1.00	166.28
K08WB75	71±1.00	169.05
K08WB100	73±0.57	163.78
K08UL25	73±0.57	152.91
K08UL50	72±1.15	140.65
K08UL75	76±1.00	159.25
K08UL100	74±1.15	164.22
P02WB25	66±1.00	170.03
P02WB50	66±0.58	156.87
P02WB75	65±0.58	112.11
P02UL25	64±1.53	122.97
P02UL50	64±1.15	119.22
K02SP0	64±1.15	132.33
K02 (SP1.5)	70±0.00	140.98
K02SP10	65±0.58	159.97
P02SP0	69±0.58	122.44
P02 (SP1.5)	64±0.58	122.01
P02SP10	67±0.58	123.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

